



PROJETO DE GRADUAÇÃO

ELABORAÇÃO DE MANUAIS DE CALIBRAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DA MÁQUINA DE TESTES LOSENHAUSEN UHP 60

Por,
Flávio Victor Dias Neto

Brasília, 02 de Dezembro de 2015.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**ELABORAÇÃO DE MANUAIS DE
CALIBRAÇÃO, OPERAÇÃO E
MANUTENÇÃO DA MÁQUINA DE TESTES
LOSENHAUSEN UHP 60**

POR,

Flávio Victor Dias Neto

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico.

Banca Examinadora

Prof. Antonio Manoel Dias Henriques, UnB/ ENM
(Orientador)

Prof. Thiago de Carvalho Rodrigues Doca, UnB/
ENM

Prof. Walter de Britto Vidal Filho, UnB/ ENM

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Leida Maria Feitosa Farias e Flávio Victor Dias Filho e avó Maria Alice Costa Dias que sempre estiveram ao meu lado apoiando e dando todo o suporte necessário para realização do curso de engenharia mecânica.

Flávio Victor Dias Neto

Agradecimentos

Agradeço aos professores Antônio Manoel Dias Henriques, Francisco Ricardo da Cunha, Taygoara Felamingo de Oliveira, José Luiz Alves da Fountoura Rodrigues por serem fontes de inspiração no curso de engenharia mecânica e pela disposição e disponibilidade que tiveram ao decorrer das matérias.

Agradeço também a família e amigos pelo suporte e compreensão durante minha vida acadêmica.

Flávio Victor Dias Neto

RESUMO

A máquina UHP 60 da LOSEHNHAUSEN é uma máquina destinada a realização de ensaios mecânicos diversos, como, por exemplo, ensaios de tração, compressão e dobramento. O Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília – UnB possui um equipamento destes em seu laboratório desde a década de 60. Visando uma correta operação e manutenção deste equipamento foram elaborados os manuais de calibração, operação e manutenção da referida máquina. Também foram realizados alguns testes visando verificar a operacionalidade do equipamento.

ABSTRACT

LOSEHNHAUSENWERK UHP 60 is a machine designed to perform mechanical tests like tensile tests, bending tests and compression tests and others special tests. The Department of mechanical engineering of University of Brasilia has UHP 60 machine in his inventory since 60's. Seeking to improve the operation and maintenance of this equipment, this work contain the development of the UHP 60 utilization, calibration and maintenance manuals. Also tests were performed aiming to verify the current operational condition of the equipment.

Sumário

INTRODUÇÃO	11
1.1 MOTIVAÇÃO	11
1.2 OBJETIVO	11
1.3 DIVISÃO DO TRABALHO	11
2 ENSAIOS MECÂNICOS	13
2.1 DEFORMAÇÃO ELÁSTICA	14
2.2 DEFORMAÇÃO PLÁSTICA	16
2.3 ENSAIO DE TRAÇÃO	17
2.4 CORPOS DE PROVA – ENSAIO DE TRAÇÃO.....	23
2.5 ENSAIOS DE COMPRESSÃO.....	25
2.6 CORPOS DE PROVA – ENSAIO DE COMPRESSÃO	26
2.7 ENSAIO DE FLEXÃO.....	27
3 DESCRIÇÃO DA MÁQUINA	30
3.1 ESTRUTURA DA MÁQUINA.....	30
3.2 COMPONENTES DO SISTEMA	32
3.2.1 Bomba Hidráulica.....	32
3.2.2 Atuador Hidráulico	33
3.2.3 Motores Elétricos.....	33
3.2.4 Painel de Controle	34
3.3 ESPAÇOS DE TESTES	37
3.3.1 Espaço de Testes Inferior	37
3.3.2 Espaço de Testes Superior.....	37
3.4 FUNCIONAMENTO.....	38
4 CALIBRAÇÃO.....	40
4.1 CALIBRANDO O FUNDO DE ESCALA.....	40
4.2 CALIBRANDO A VÁLVULA DE PENDULO	41
5 OPERAÇÃO DA MÁQUINA	42
5.1 PRECAUÇÕES	42
5.2 PREPARATIVOS PARA INICIALIZAÇÃO DA MÁQUINA.....	42
5.2.1 Checagem das Conexões Elétricas	42
5.2.2 Completando os Reservatórios da Máquina com Óleo Hidráulico	44
5.2.3 Sangrando o ar das Linhas Hidráulicas	44
5.2.4 Sangrando o ar da Bomba Hidráulica.....	44
5.2.5 Sangrando o ar do Coletor	45
5.2.6 Sangrando o ar do Regulador de Carga Teste	45

5.2.7	Sangrando o ar da Máquina	46
5.2.8	Sangrando o ar da Linha de Medida	46
5.3	INICIALIZANDO A MÁQUINA	47
5.4	CONFIGURAÇÕES INICIAIS DA MÁQUINA	47
5.4.1	Seleção do Fundo de Escala	47
5.4.2	O Regulador de Carga de Teste	48
5.5	ACOPLANDO UMA AMOSTRA	48
5.5.1	Teste de Compressão	48
5.5.2	Teste de Tração	49
5.5.3	Teste de Flexão	49
5.6	CONDUZINDO TESTES DE TRAÇÃO, COMPRESSÃO E FLEXÃO	49
5.6.1	Testes sem o Regulador de Carga de Teste	49
5.6.2	Testes utilizando o Regulador de Carga de Teste	49
5.7	DESLIGANDO A MÁQUINA	50
6	MANUTENÇÃO	51
7	GUIA RÁPIDO PARA ENSAIOS DE TRAÇÃO	52
7.1	PROCEDIMENTOS PRÉ-ENSAIO	52
7.2	EXECUÇÃO DO ENSAIO	53
7.3	DESATIVAÇÃO DA MÁQUINA	54
8	ENSAIOS PARA VERIFICAR A OPERACIONALIDADE DA LOSENHAUSEN UHP 60	55
8.1	ENSAIOS MTS	55
8.2	ENSAIOS LOSENHAUSEN	57
9	RETROFIT DE MÁQUINAS DE ENSAIOS UNIVERSAIS	60
9.1	BÁSICO	60
9.2	3 CANAIS	62
9.3	ATUALIZAÇÃO BASEADA EM PC	63
9.4	ATUALIZAÇÃO BÁSICA DO SISTEMA DE CONTROLE	65
9.5	ATUALIZAÇÃO COMPLETA DO SISTEMA	65
	CONCLUSÃO	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	ANEXO I – ROTINA PARA INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DA MTS	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Máquina UHP 60 [1]	13
Figura 2. Curva tensão vs deformação em regime elástico [2]	14
Figura 3. Tensão limite de escoamento [2]	15
Figura 4. Diagrama tensão deformação [2]	17
Figura 5 – Pontos de análise do diagrama tensão vs deformação [7]	18
Figura 6. Comparativo entre curvas tensão – deformação de aços de médio e alto teor de carbono [3]	19
Figura 7 – Extensômetro analógico – Martens Kennedy [1]	20
Figura 8 – Extensômetro ótico Ziwick [14]	21
Figura 9 – Extensômetro analógico [15]	21
Figura 10 – Extensômetro strain gauge uniaxial [16]	22
Figura 11 – Marcação do corpo de prova [10]	23
Figura 12. Corpo de prova de cobre submetido a ensaio de compressão [2]	25
Figura 13 – Adensamento e moldagem de corpo de prova de concreto [12]	27
Figura 14. Corpo de prova submetido a ensaio de dobramento [4]	27
Figura 15 – Diâmetro do corpo de prova [9]	28
Figura 16 – Ângulo de dobramento [9]	28
Figura 17. Máquina UHP 60 acoplada a um pulsômetro de 200 cm ³ [1]	30
Figura 18. Ensaio de cisalhamento sendo conduzido na máquina UHP 60 [1]	31
Figura 19. Ensaio de dureza Brinell sendo conduzido na máquina UHP 60 [1]	31
Figura 20. Teste de tração sendo realizado a 850 °C [1]	31
Figura 21. Disposição do painel de controle e linhas hidráulicas [1]	32
Figura 22. Bomba hidráulica Bosch modelo PE [1]	32
Figura 23. Máquina UHP 60 e o painel de controle instalados no edifício SG-9	34
Figura 24 – Fundo de escala UHP 60	35
Figura 25 - Detalhe do fundo de escala da UHP 60	35
Figura 26. Vista frontal do quadro elétrico do painel de controle	36
Figura 27. Vista posterior do quadro elétrico do painel de controle	36
Figura 28. Espaço de testes inferior [1]	37
Figura 29. Espaço de testes superior [1]	37
Figura 30. Vista frontal da máquina UHP 60 [1]	38
Figura 31. Vista frontal e lateral do painel de controle da máquina UHP 60 [1]	38
Figura 32. Ponteiro de carga e agulha de arrasto – painel de controle	40
Figura 33. Vista posterior do painel de controle [1]	41
Figura 34. Quadro elétrico máquina UHP 60 [1]	42
Figura 35. Parafuso de sangria da bomba hidráulica [1]	44
Figura 36. Sangria do coletor [1]	45
Figura 37. Sangria do regulador de carga teste [1]	45
Figura 38. Sangria da linha hidráulica [1]	46
Figura 39 – Corpo de prova sendo marcado	52
Figura 40 – Registrador da máquina Losenhausen UHP 60	53
Figura 41 – Corpo de prova fixado ao espaço de testes inferior	54
Figura 42 – Corpo de prova fixado a máquina MTS	55
Figura 43 - Curva tensão vs deformação corpo de prova 1 – Ensaio realizado na MTS	56

Figura 44 - Curva tensão vs deformação corpo de prova 2 – Ensaio realizado na MTS	56
Figura 45 - Corpo de prova marcado	57
Figura 46 - Discos de tara	58
Figura 47 - Estricção do corpo de prova	58
Figura 48 - Corpos de prova rompidos.....	59
Figura 49 - Indicador digital de um canal e célula de carga fabricados pela ADMET [20].....	61
Figura 50 - Célula de carga da família ME do fabricante AEPH [21]	61
Figura 51 - o indicador para máquinas de ensaio modelo 3105c da ALPHA INSTRUMENTOS [22]	62
Figura 52 - Indicador 3 canais ADMET [20]	63
Figura 53 - Sistema de condicionamento de sinal SCXI - National instruments [23]	64
Figura 54 - Diagrama de módulos de projeto de retrofit de máquina universal de ensaios [24]	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Módulo de elasticidade x Temperatura – Materiais diversos [2].....	15
Tabela 2 – Tolerância dos corpos de prova metálicos para ensaios a tração - NBR 6152.....	24
Tabela 3 – Fator de correção de carga [11].....	26
Tabela 4 - Motores elétricos – Máquina universal de testes UHP 60 [1].....	34
Tabela 5 - Dimensões dos corpos de prova.....	55
Tabela 6 - Resultado ensaios MTS.....	56
Tabela 7 - Dimensões dos corpos de prova.....	57

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

E	Módulo de elasticidade	[GPa]
L	Comprimento do cp	[mm]
L_0	Comprimento inicial do cp	[mm]
D	Diâmetro do cp	[mm]
D_0	Diâmetro inicial do cp	[mm]
A	Área da seção transversal do cp	[mm ²]
A_0	Área inicial da seção transversal do cp	[mm ²]
LR	Limite de resistência	[MPa]
F_{max}	Carga máxima aplicada ao cp	[N]
LE	Limite de escoamento	[MPa]
F_{ys}	Carga aplicada ao cp	[N]
L_f	Comprimento final do cp após a ruptura	[mm]
L'	Comprimento da parte menor do cp após a ruptura	[mm]
L''	Comprimento da parte maior do cp após a ruptura	[mm]
k	Constante de proporcionalidade	-
L_C	Comprimento paralelo do cp	[mm]
S_0	Área inicial da seção transversal do cp	[mm ²]
f_c	Resistência a compressão do material	[MPa]

Símbolos Gregos

σ	Tensão	[MPa]
ε	Deformação	
ε_t	Deformação transversal	
ν	Coefficiente de Poisson	

INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

As máquinas de testes mais comuns para os ensaios de resistência são máquinas universais, que são capazes de realizar testes de tração, compressão e flexão.

A função básica destas máquinas é criar um diagrama carga x deslocamento.

Uma vez gerado o diagrama, pode-se calcular a tensão de escoamento manualmente com recurso geométrico de lápis e régua, ou via um algoritmo computacional acoplado. Neste caso, são também calculados os módulos de elasticidade, a tensão limite de ruptura e o alongamento total.

Quanto ao tipo de operação, as máquinas de ensaio podem ser eletromecânicas ou servo-hidráulicas. A diferença entre elas está no atuador que irá aplicar a carga sobre o corpo de prova.

O Departamento de Engenharia Mecânica da UnB possui, desde a década de 1960, uma máquina de testes universais, marca Losenhausen UHP 60, que no ano de 2014, depois de mais de 40 anos, passou por uma manutenção geral. A máquina em questão tem sido, ao longo dos anos, utilizada em aulas experimentais de algumas disciplinas da graduação do ENM, bem como na prestação de serviços. Não existe, no entanto, manuais de calibração, operação e manutenção do referido equipamento, o que tem dificultado sua utilização.

Apesar do ENM contar atualmente com várias máquinas de testes da fabricante MTS, estas normalmente tem sido prioritariamente utilizada para atender as demandas da pós-graduação.

1.2 OBJETIVO

O presente projeto visa a elaboração de manuais de calibração, operação e manutenção da máquina de testes universal Losenhausen UHP 60 que se encontra instalada no prédio SG-9, uma vez que os manuais existentes estão incompletos e em inglês. Desta forma pretende-se que a máquina atenda com confiabilidade as aulas de graduação de diferentes disciplinas do ENM bem como tenha sua manutenção preventiva facilitada.

1.3 DIVISÃO DO TRABALHO

O presente documento está dividido em nove capítulos, sendo o primeiro tratando sobre a motivação e o objetivo de confeccionar-se um manual para a máquina UHP 60 do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília – ENM.

Posteriormente, no segundo capítulo, são descritos os três tipos de ensaio capazes de serem realizados pela máquina UHP 60 e, então, no capítulo subsequente a máquina terá seu funcionamento e seus principais componentes descritos, de forma a propiciar ao operador da

máquina uma visão sistêmica do equipamento. O quarto capítulo tratará sobre a calibragem da UHP 60.

Por fim, o capítulo quinto tratará da operação da máquina, desde sua ativação, passando pela seleção de um fundo de escala adequado para o teste a ser executado, acoplagem da amostra a máquina, execução do ensaio proposto e desativação da máquina.

A manutenção do equipamento é abordada no sexto capítulo. No sétimo capítulo é disposto um procedimento rápido para a execução de ensaios de tração.

O capítulo oito trata sobre os ensaios realizados para verificação do estado operacional do equipamento e validação do trabalho. O nono capítulo discorre sobre a modernização de máquinas de ensaio universal.

2 ENSAIOS MECÂNICOS

Ao se realizar um projeto de qualquer elemento é necessário conhecer suas propriedades mecânicas para o correto dimensionamento da parte. A obtenção dos valores destas propriedades materiais, em geral, não é analítica, mas sim experimental.

Os procedimentos experimentais que visam estudar o comportamento dos materiais em uma dada circunstância são denominados ensaios mecânicos.

Exemplos de propriedades materiais determinadas a partir deste tipo de procedimento são plasticidade, condutividade, dureza, ductilidade etc. Este tipo de propriedade varia de acordo com a situação a qual o material está exposto, como a temperatura, carregamentos e a atmosfera.

Durante a execução de um ensaio mecânico determina-se as propriedades dos materiais em dois regimes de deformação, sendo o regime de deformação elástico e o regime de deformação plástico.

A máquina UHP 60, embora antiga, é capaz de realizar os mais variados tipos de ensaios mecânicos, sendo os principais:

1. Ensaio de tração;
2. Ensaio de compressão;
3. Ensaio de dobramento;

Os ensaios realizados pela máquina UHP 60 podem ser de curta duração, longa duração, ou carga constante.

Além dos ensaios básicos supracitados, é possível realizar ensaios dinâmicos, ensaios de dureza Brinell, ensaios de dobramento e ensaios em temperaturas extremas desde que equipamentos suplementares de suporte a estes tipos de ensaios sejam adquiridos e acoplados a máquina.

A figura (1) mostra uma foto da máquina UHP 60 em sua configuração básica.

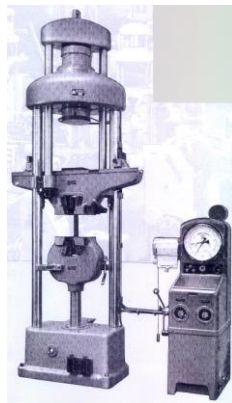


Figura 1. Máquina UHP 60 [1]

2.1 DEFORMAÇÃO ELÁSTICA

Durante o processo de deformação elástica a deformação no corpo de prova não é permanente e tensão e deformação são proporcionais. Desta forma, a curva tensão vs deformação do material durante o processo de deformação elástica resulta em uma relação linear, sendo a inclinação da reta correspondente ao módulo de elasticidade do material [2]. A figura (2) exemplifica a curva tensão vs deformação de um material em regime elástico de deformação.

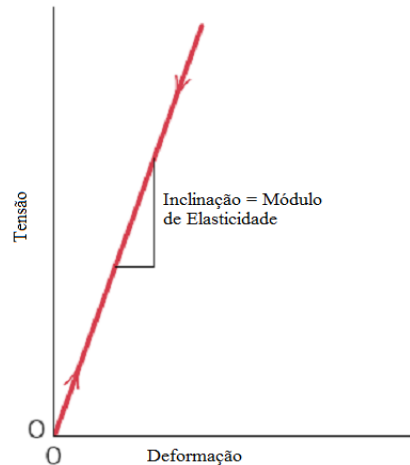


Figura 2. Curva tensão vs deformação em regime elástico [2]

A equação (1) relaciona tensão e deformação em regime elástico:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

Em que σ representa a tensão aplicada ao corpo de prova, E é o módulo de elasticidade do material ensaiado e ε é a deformação real sofrida pela amostra devido ao ensaio.

A deformação ε do material é calculada pela relação disposta na equação (2):

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \quad (2)$$

Onde L representa o comprimento do corpo de prova em um dado instante de tempo e L_0 é o comprimento inicial do corpo de prova.

Ao se deformar o corpo de prova longitudinalmente ocorrem também deformações transversais, que podem ser calculadas de acordo com a equação (3).

$$\varepsilon_t = \frac{D-D_0}{D_0} \quad (3)$$

Na equação (3) ε_t representa a deformação transversal do corpo de prova, enquanto D é o diâmetro do corpo de prova em um determinado instante e D_0 diâmetro inicial da amostra.

Outro parâmetro importante obtido em ensaios mecânicos é o Coeficiente de Poisson, calculado como mostrado na equação (4). Esta grandeza mede a rigidez do material na direção perpendicular à qual a carga está sendo aplicada.

$$\nu = -\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon} \quad (4)$$

Durante a realização de ensaios mecânicos é fundamental o controle da temperatura do corpo de prova e do ambiente, uma vez que o módulo de elasticidade tende a diminuir à medida que a temperatura aumenta. A tabela (1) mostra o valor do módulo de elasticidade para diversos materiais a temperaturas diferentes.

Tabela 1. Módulo de elasticidade x Temperatura – Materiais diversos [2]

Módulo de elasticidade [GPa]					
Temperatura [°C]	20	205	427	538	649
Aço carbono	210	190	158	137	127
Ligas Ti	116	98	75	71	-
Ligas Al	74	67	55	-	-

Para a maioria dos materiais, o regime de deformação elástica é muito pequeno, correspondendo a deformações sugeridas em norma que variam entre 0,2% e 0,5%. Após este limite de deformação e tensão não são mais proporcionais e a deformação é plástica. O limite de escoamento do material é determinado construindo-se uma linha paralela à região elástica a partir de uma pré-deformação de 0,2%. A intersecção desta linha com a curva tensão – deformação é a tensão limite de escoamento (σ_y), como mostra a figura (3).

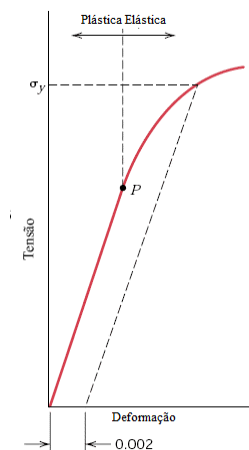


Figura 3. Tensão limite de escoamento [2]

Pode-se dizer que o limite de escoamento é o principal parâmetro obtido em ensaios mecânicos. Isso deve-se ao fato que, em geral, em projetos de engenharia não é desejável que os materiais entrem na zona de deformação plástica, sendo que o limite de escoamento (LE) indica a carga máxima a qual um material pode ser submetido sem comprometer a integridade estrutural de um projeto.

Como na região elástica as deformações são muito pequenas, para efeito de cálculo do limite de escoamento do material, considera-se que a área da seção transversal do corpo de prova quando o LE é atingido é igual a área inicial do corpo de prova. Desta forma, o limite de escoamento é calculado de acordo com a equação (5).

$$LE = \frac{F_{ys}}{A_0} \quad (5)$$

Em que LE é o limite de escoamento do material em Pa, F_{ys} é a carga aplicada em N e A_0 é a área da seção transversal do corpo de prova.

2.2 DEFORMAÇÃO PLÁSTICA

Os parâmetros obtidos na fase plástica de um ensaio mecânico são importantes na medida e demonstram como o material se comporta quando sujeito a conformação mecânica. Na fase de deformação plástica, as deformações as quais um corpo de prova ou elemento mecânico são submetidos não são desprezíveis e torna-se necessário a correção da área da seção transversal do corpo de prova para o cálculo das tensões e deformações verdadeiras. Sendo assim, a equação (6) é utilizada para o cálculo da tensão atuante sobre o corpo de prova.

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A_i} \quad (6)$$

Na equação (6) σ_i é a tensão atuando sobre o corpo de prova sujeito a carga capaz de causar deformação plástica, F_i é a carga aplicada sobre a amostra e A_i é a seção transversal do corpo de prova em dado instante.

É importante corrigir o valor da área no cálculo da seção pois, a partir do escoamento, o corpo de prova se expande na direção da carga aplicada enquanto se contrai nas demais direções, de forma que o volume do corpo de prova mantém-se constante (supondo distribuição homogênea de deformações, $\nu = 0,5$). Sendo assim, a deformação real do corpo de prova pode ser calculada de acordo com a equação (7).

$$\varepsilon_{real} = \ln\left(\frac{L_i}{L_0}\right) = \ln(1 + \varepsilon) \quad (7)$$

As equações (6) e (7) apenas são válidas para materiais com distribuição homogênea de deformação e até que ocorra a estricção do corpo de prova. Desta forma, o levantamento do comportamento do CP após a estricção deve ser feito experimentalmente.

2.3 ENSAIO DE TRAÇÃO

A máquina UHP 60 pode realizar ensaios de tração estáticos com cargas de até 60 toneladas, e testes de tração dinâmicos com cargas de até 10 toneladas, desde que a máquina seja acoplada a um pulsômetro. Este pulsômetro é adquirido separadamente da máquina, de acordo com informações do catálogo do fabricante.

Estes testes, em geral, consistem em aplicar cargas que promovam a deformação da amostra na direção do esforço e, então traçar o diagrama tensão vs deformação do material ensaiado – A figura (4) exhibe o comportamento da seção transversal de um corpo de prova dúctil quando sujeito a um ensaio de tração.

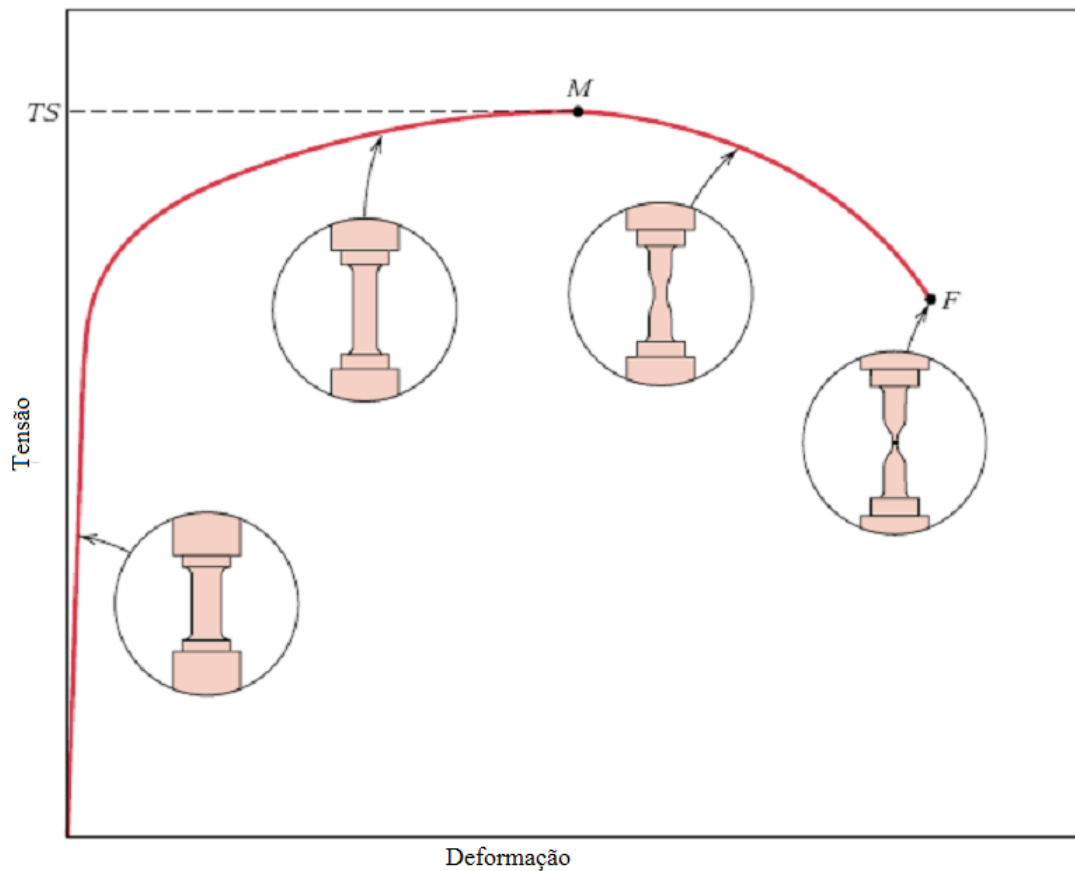


Figura 4. Diagrama tensão deformação [2]

Durante a realização do ensaio é traçado o diagrama tensão vs deformação do material. Por meio deste diagrama é possível obter-se o limite elástico do material, o módulo de elasticidade, o limite de proporcionalidade, o ponto de encruamento, o limite de resistência, o limite de ruptura e realizar análises a respeito da ductilidade do material por meio da observação do grau de estricção da seção transversal do material.

Durante a realização de ensaios de tração são seguidas normas que determinam a maneira como o ensaio deve ser conduzido

O limite de proporcionalidade – figura (5) - indica o ponto a partir do qual a relação entre deformação e tensão deixa de ser linear. Na região elástica do material (pontos anteriores ao limite de proporcionalidade) a razão entre tensão aplicada e deformação é constante (equação 1) e indica a rigidez do material. Quanto maior o módulo de elasticidade, mais rígido o material. A partir do limite de proporcionalidade (pontos posteriores) a deformação do corpo de prova passa a ser permanente.

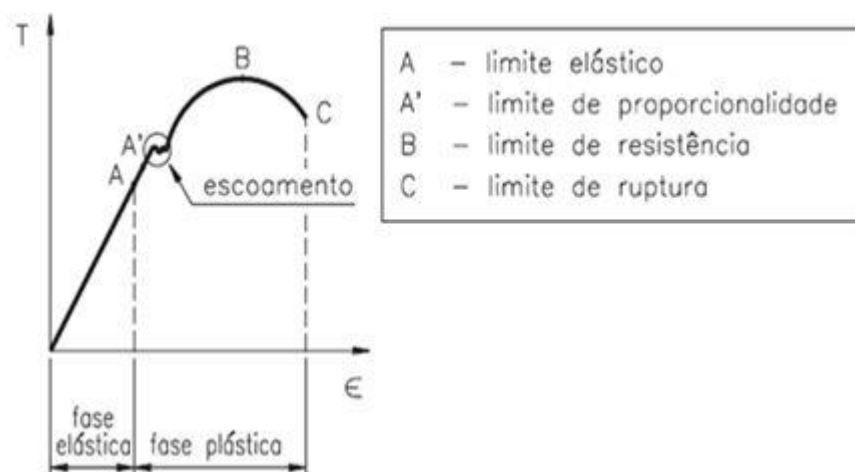


Figura 5 – Pontos de análise do diagrama tensão vs deformação [7]

O escoamento do material se inicia imediatamente após o limite de proporcionalidade ser atingido – figura (5). Esta não é uma região bem definida, como pode ser visualizado na figura (5). Quando o limite de proporcionalidade for atingido o escoamento irá ocorrer mesmo que, a partir deste ponto, não ocorra aumento de carga durante a execução do ensaio.

O limite de resistência indica a máxima tensão a que um material resiste sem se romper e pode ser calculado de acordo com a equação (8). Este ponto está situado em uma região de deformação plástica do diagrama tensão vs deformação. A tensão neste ponto é maior devido ao fato que, após o escoamento, o material endurece devido a deformação – encruamento.

$$LR = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (8)$$

Na equação (8) o limite de resistência é representado por LR, F_{max} indica a carga máxima aplicada ao corpo de prova durante a realização do ensaio e A_0 é a área inicial da seção transversal do corpo de prova

Atingido o limite de resistência do material a sua estrutura cristalina foi modificada e seus grãos rompidos. Desta forma, a tensão necessária para se provocar alongamento no corpo de prova passa a ser menor. Continuando a se aplicar carga no corpo de prova este irá se alongar até o limite de ruptura ser atingido – figura (5).

As curvas de deformação de matérias dúcteis e frágeis são muito diversas, uma vez que materiais frágeis não escoam e se rompem rapidamente após a zona elástica de deformação ter sido ultrapassada. A figura (6) compara as curvas de escoamento de aços com alto teor de carbono e aços médio carbono.

Análises de ductilidade também podem ser feitas analisando a seção transversal do corpo de prova. Quanto menor a seção transversal, mais dúctil será o material ensaiado.

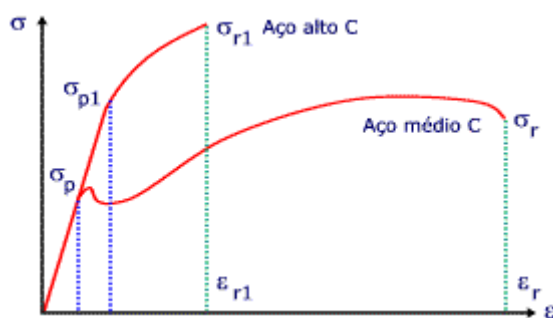


Figura 6. Comparativo entre curvas tensão – deformação de aços de médio e alto teor de carbono [3]

Durante a realização de ensaios na máquina UHP 60 é necessário calcular o alongamento do corpo de prova. Para isso, existem dois métodos possíveis.

O primeiro método utiliza-se de extensômetro. Estes extensômetro podem ser de contato, como, por exemplo, os extensômetro que se utilizam de relógio comparador para medição da deformação do corpo de prova, ou os extensômetros do tipo *straingauge* que são colados aos corpos de prova. Também existem extensômetro que efetuam a medida de deformação em corpos de prova sem contato com este, utilizando-se de tecnologias de vídeo ou laser.

O segundo método é descrito na norma NBR 06152, que trata sobre o ensaio de materiais metálicos a temperatura ambiente.

O extensômetro que acompanhava a máquina UHP 60 era um extensômetro analógico de contato fabricado pela Martens Kennedy – figura (7). Este extensômetro era capaz de medir a deformações em corpos de prova de até 100 mm sob tração em amostras com diâmetro de até 20 mm.

Para explicação do funcionamento do extensômetro Martens Kennedy utiliza-se a figura (7) como referência. O sistema é composto por duas molas, representadas em (1), que serão acopladas a amostra e fixadas por meio de uma braçadeira (7). O ajuste de fixação dessas braçadeiras é feito por meio do parafuso de ajuste (6) e o contato desta com a amostra se dá por meio das placas (4).

Ao alongar-se, as pontas de fixação (9) irão girar de forma a movimentar o ponteiro (8). Então, o alongamento é lido na escala (3). Um exemplo de leitura da escala: caso a marcação 1 do ponteiro (8) esteja alinhado com a marcação 20 da escala (3) a deformação lida será de 1:20, que equivale a um alongamento de 1 mm. Ou seja, 20 graduações da escala (3) equivalem a 1 mm e a o equipamento é capaz de efetuar medidas de até 1.5 mm.

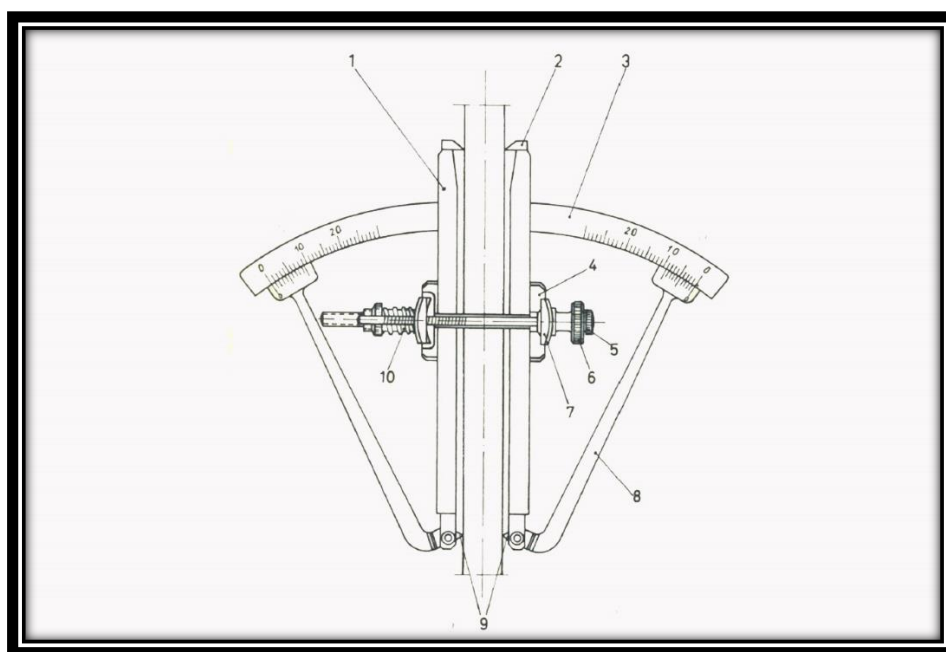


Figura 7 – Extensômetro analógico – Martens Kennedy [1]

Este extensômetro é capaz apenas de determinar as deformações na zona elástica. A medição da deformação se dá acoplado a amostra ao extensômetro firmemente, de forma que não haja deslizamento entre as partes. Aplica-se uma pré-carga a amostra de forma que o dispositivo de fixação do extensômetro seja tracionado. Então aumenta-se a carga a uma taxa de 1 tonf/s até que seja atingida 90% da carga esperada para escoamento da amostra. Após 10 segundos retira-se a carga até que seja atingida a pré-carga inicial e lê-se o alongamento do corpo de prova. Repete-se o procedimento aumentando a carga até que se atinja o ponto de escoamento do material. Ao se aproximar do ponto de escoamento é recomendado diminuir-se os carregamentos. A unidade de medida da escala do extensômetro é milímetros.

A UHP 60 utilizada na Universidade de Brasília teve seu extensômetro extraviado, porém é possível utilizar diversos modelos de extensômetro mais modernos, uma vez que a medição da deformação não influi no funcionamento da UHP 60.

Os extensômetros que se utilizam da tecnologia laser ou vídeo tem por vantagem não influírem no ensaio dos corpos se prova, porém, tem custo elevado de aquisição, operação e manutenção. A figura (8) mostra um extensômetro que se utiliza da tecnologia de medição ótica fabricado pela Zwick.



Figura 8 – Extensômetro ótico Ziwck [14]

Um outro tipo de extensômetro comum são os analógicos que se utilizam de relógios comparadores para efetuar a medida da deformação. Este é o tipo de extensômetro de mais simples operação e aquisição. A figura (9) mostra um extensômetro analógico.



Figura 9 – Extensômetro analógico [15]

Por fim, outro tipo de extensômetro de contato utilizado para se medir deformações nos corpos de prova são do tipo *strain gauge*. A figura (10) exemplifica modelos de extensômetro do tipo *strain gauge* uniaxial fabricado pela HBM.

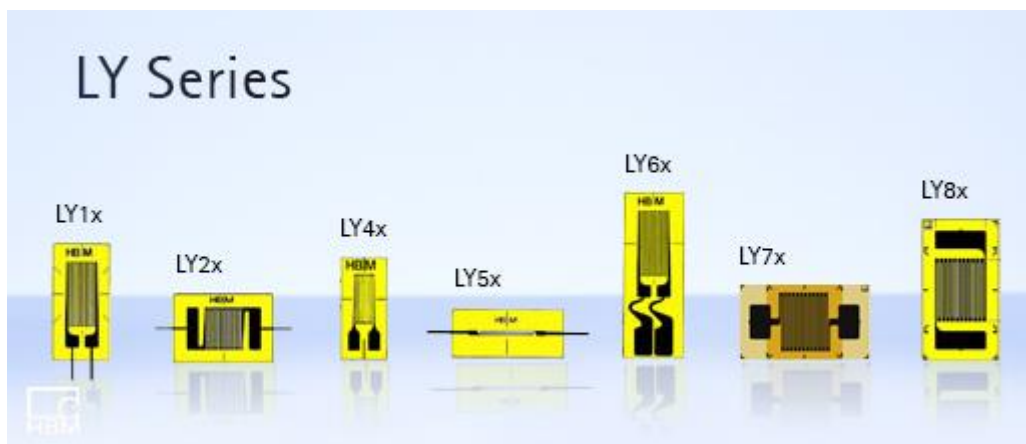


Figura 10 – Extensômetro strain gauge uniaxial [16]

O método descrito no anexo G da norma NBR 06152 é o utilizado na máquina UHP 60 da Universidade de Brasília, atualmente, para medir-se as deformações dos corpos de prova. Este método consiste em medir o alongamento percentual após ruptura baseando-se na subdivisão do comprimento de medida original. Para tanto, marca-se o corpo de prova em “n” partes iguais. Deve-se atentar pois estas marcações variam de comprimento de acordo com o corpo de prova. A NBR enfatiza que o comprimento útil do corpo de prova é igual a 5 vezes o tamanho do diâmetro de sua seção transversal.

Após o ensaio ser realizado e o corpo de prova ser rompido junta-se as duas partes da amostra. Caso o corpo tenha se rompido próximo a metade, conta-se metade das marcas para cada lado e efetua-se a medição do comprimento do corpo de prova utilizando as marcas como referência.

Caso o rompimento não tenha ocorrido próximo a metade do corpo de prova, toma-se a menor parte entre as duas existentes e conta-se o número de riscos. Junta-se as partes e conta-se o número de riscos contida na parte menor soma-se “n” partes até que se atinja n/2 partes na parte maior. Mede-se o comprimento L’ que consiste do comprimento das ‘n’ marcas da menor metade mais metade do total de marcas efetuadas na parte maior. Mede-se, na maior metade, o comprimento L’’ que consiste as divisões que ficaram faltando na menor metade. Calcula-se o comprimento final de acordo com equação (9) e a figura (11).

$$L_f = L' + L'' \quad (9)$$

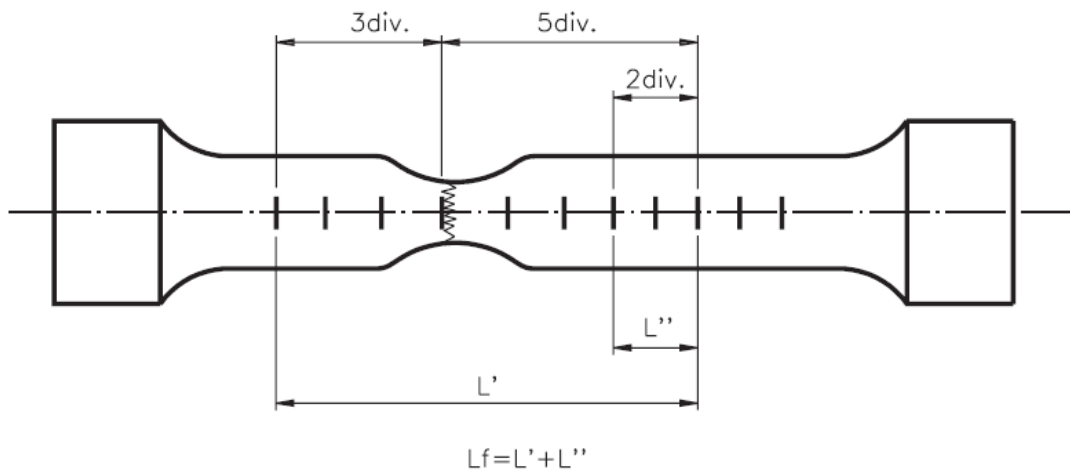


Figura 11 – Marcação do corpo de prova [10]

Com o comprimento final calculado, calcula-se o alongamento de acordo com a equação (2).

2.4 CORPOS DE PROVA – ENSAIO DE TRAÇÃO

Os corpos de prova para ensaios de tração são normalizados pela norma NBR 6152. Os corpos de prova podem ter seção circular, retangular ou quadrada. Os corpos de prova para ensaios à tração podem ser proporcionais ou não proporcionais. Quando proporcionais, se relacionam a área da seção transversal por meio da equação (10).

$$L_0 = k \cdot \sqrt{S_0} \quad (10)$$

Sendo L_0 o comprimento do corpo de prova, e S_0 a área de sua seção transversal. A constante “k” possui valor igual a 5,65. Caso o comprimento do corpo de prova seja menor que 20 mm ou a área da seção transversal seja pequena, deve-se adotar k com um valor recomendado de 11,3.

No caso de corpos de prova não proporcionais, o comprimento não é relacionado com a área da seção transversal.

As extremidades do corpo de prova podem possuir qualquer forma, desde que o comprimento útil do mesmo permaneça a uma distância razoável das cabeças de fixação dos CPs. O raio de concordância entre o comprimento paralelo e comprimento do corpo de prova devem ter no mínimo $0,75d$ mm (d é o diâmetro comprimento de medida do corpo de prova) e no máximo 12 mm no caso de corpos de prova prismáticos.

O comprimento paralelo é definido pela equação (11):

$$L_C = L_0 + \frac{d}{2} \quad (11)$$

Em que L_C é o comprimento paralelo, L_0 é o comprimento do corpo de prova e d é o diâmetro o diâmetro do comprimento do corpo de prova.

No caso do corpo de prova ser prismático, a relação utilizada é definida pela equação (12):

$$L_C = L_0 + 1,5 \cdot \sqrt{S_0} \quad (12)$$

Os equações e considerações feitas para os corpos de prova nesta seção são válidas para corpos de prova com diâmetros ou espessuras superiores a 4 mm. No caso de dimensões inferiores ou tubos outras relações são descritas em norma.

Durante a fabricação dos corpos de prova é importante que se siga a tabela de tolerâncias (2).

Tabela 2 – Tolerância dos corpos de prova metálicos para ensaios a tração - NBR 6152

Designação	Dimensão transversal nominal	Tolerância de usinagem sobre a dimensão nominal ¹⁾	Tolerância de forma
Diamêtro do corpo de prova usinado de seção transversal circular	3	± 0,05	0,025 ²⁾
	> 3 ≤ 6	± 0,06	0,03 ²⁾
	> 6 ≤ 10	± 0,075	0,036 ²⁾
	> 10 ≤ 18	± 0,09	0,043 ²⁾
	> 18 ≤ 30	± 0,105	0,052 ²⁾
Dimensões transversais de corpos de prova de seção transversal retangular usinados nas 4 faces		Mesmas tolerâncias aplicáveis aos diâmetros de corpos de prova de seção circular transversal	
Dimensões transversais de corpos de prova de seção transversal retangular usinados somente em 2 faces opostas			0,14 ³⁾
			0,18 ³⁾
			0,22 ³⁾
			0,27 ³⁾
			0,33 ³⁾
			0,39 ³⁾
1) Tolerâncias js 12 de acordo com a ISSO 286-2. Estas tolerâncias são aplicáveis se o valor nominal da área de seção transversal original (S_0) for incluído no cálculo sem medí-la.			
2) Tolerância IT 19	Desvio máximo entre as medidas de uma dimensão transversal especificada ao longo do comprimento total paralelo (L_C) do corpo de prova		
3) Tolerância IT 13			

2.5 ENSAIOS DE COMPRESSÃO

Os ensaios de compressão costumam ser empregados em testes de matérias frágeis, como concreto, aços com alto teor de carbono, cerâmicas etc., uma vez que para estes materiais a zona elástica costuma ser muito pequena.

Embora seja possível determinar as mesmas propriedades do material calculadas utilizando ensaios de tração, na região da zona elástica, este método costuma ser pouco aplicada em materiais dúcteis, uma vez que estes materiais escoam e não se rompem quando sujeitos a carga de compressão, fenômeno este que pode ser visualizado na figura (12). Um outro problema no ensaio de compressão deve-se a flambagem dos corpos de prova, quando os comprimentos são maiores que os diâmetros da seção transversal mais de oito vezes.

Os ensaios de compressão são utilizados muitas vezes em testes de produtos acabados, como tubos e molas.



Figura 12. Corpo de prova de cobre submetido a ensaio de compressão [2]

Algumas das normas que disciplinam a execução de testes de compressão são as normas NBR 5738, NBR 7680 e NBR 9479, que tratam da realização de ensaios de compressão em corpos de prova de concreto. Outra importante norma NBR NM ISO 7500-1, que trata da realização de ensaios em corpos de prova metálicos.

Na UnB, a máquina UHP 60 realiza, normalmente, ensaios de compressão em corpos de prova de concreto, prestando serviços a empresas de engenharia e aos cursos de arquitetura e engenharia civil.

A NBR 5738 especifica que para os ensaios realizados serem válidos a máquina deve ser calibrada, pelo menos, a cada 24 meses.

A resistência a compressão do material ensaiado é calculada de acordo com a equação (13).

$$f_c = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2} \quad (13)$$

Em que f_c é a resistência a compressão em MPa, F é a carga máxima aplicada ao corpo de prova em N e D é o diâmetro do corpo de provas em mm. Caso o corpo de prova tenha relação altura por diâmetro (h/D) menor que 1,94, deve-se consultar a tabela (3) para aplicar-se um fator de correção adequado a carga máxima aplicada.

Tabela 3 – Fator de correção de carga - NBR 5738 [11]

Relação h/d	2	1,75	1,5	1,25	1
Fator de correção	1	0,98	0,96	0,93	0,87
Nota: Os índices correspondentes a relação h/d não indicada podem ser obtidos por interpolação linear com aproximação de centésimos.					

Existem cuidados específicos que deve se tomar ao realizar ensaios de compressão, como a checagem dos pratos de suporte da máquina, que devem ter espessura 10% superior ao diâmetro do corpo de prova, a verificação dos desvios angulares dos pratos (estes devem ter desvio máximo de 0,05 mm) e, caso utilize-se calços na realização do ensaio, estes devem seguir os mesmos requisitos de planicidade, dureza e rigidez.

2.6 CORPOS DE PROVA – ENSAIO DE COMPRESSÃO

Na Universidade de Brasília a máquina UHP 60 realiza ensaios de compressão, usualmente, em corpos de prova de concreto afim de obter características de materiais utilizados na construção civil. Para tanto, é fundamental que os corpos de prova sejam produzidos de acordo com a NBR 5738, que trata da moldagem e cura para corpos de prova de concreto.

Além de dispor de todo o procedimento para a fabricação, como adensamento – figura (13), tempo de cura e o tempo para desmoldagem do corpo de prova a NBR dispõe das dimensões básicas para o corpo de prova e as tolerâncias de fabricação.

Os corpos de prova de concreto podem ser prismáticos ou cilíndricos. No caso de serem cilíndricos, podem ter 10, 15, 20, 25, 30 ou 45 cm de medidas diametrais e altura igual ao dobro do valor do diâmetro, com tolerância diametral de 1% e de 2% na altura. Para corpos de prova prismáticos o comprimento deve ser pelo menos 50 mm maior que o vão de ensaio e 50 mm maior do lado da seção transversal do corpo de prova. A dimensão transversal deve ser de no mínimo 150 mm e ter tolerância inferior a 2% ou menor que 2 mm.



Figura 13 – Adensamento e moldagem de corpo de prova de concreto [12]

2.7 ENSAIO DE FLEXÃO

O ensaio de dobramento consiste em dobrar um corpo de prova que esteja apoiado sobre dois suportes, como mostra a figura (14). Um esforço de flexão é aplicado no centro do corpo de provas por meio de um cutelo até que seja atingido um ângulo de dobramento. O diâmetro do cutelo e o ângulo de dobramento determinam a severidade do ensaio.

Existem dois tipos de ensaios de dobramento:

- Dobramento livre – Quando o corpo de prova é simplesmente apoiado sobre os suportes;
- Dobramento guiado – Quando o corpo de prova tem uma de suas extremidades engastadas;

Os ensaios de dobramento em geral são utilizados para obter-se um indicativo da ductibilidade do material, sendo este um ensaio de caráter qualitativo.

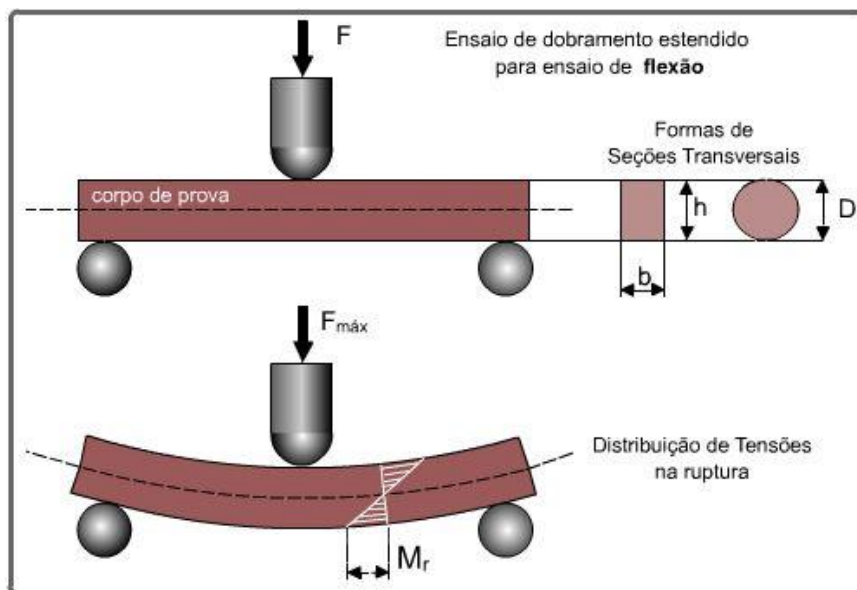


Figura 14. Corpo de prova submetido a ensaio de dobramento [4]

Para realizar-se o ensaio de dobramento utiliza-se a norma NBR 06153 como guia. Esta norma é aplicável para corpos de prova planos ou não com espessuras superiores a 0,2 mm. Para a realização do ensaio de dobramento deve-se conhecer a espessura do corpo de prova, seu comprimento, o diâmetro da seção transversal da seção circular ou do círculo inscrito nas seções transversais poligonais - figura (15), a largura do corpo de prova, a distância entre os apoios, o raio do cutelo utilizado para realizar o ensaio, o ângulo de dobramento α - figura (16), o raio interior da dobra do corpo de prova ao final do dobramento e a carga do ensaio.

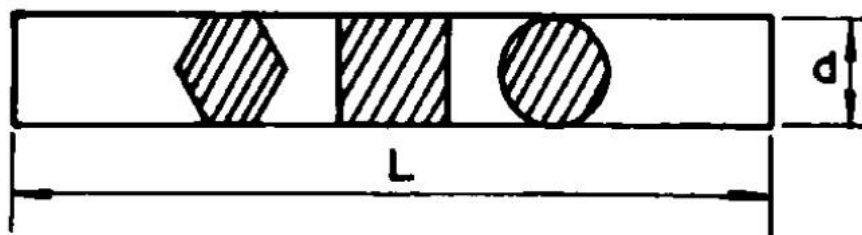


Figura 15 – Diâmetro do corpo de prova [9]

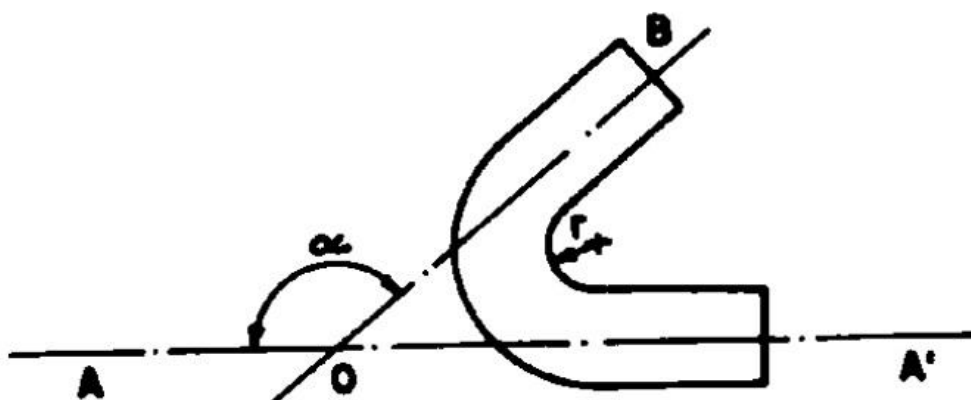


Figura 16 – Ângulo de dobramento [9]

O ensaio de dobramento é realizado em duas etapas, sendo uma de flexão e uma de compressão. A primeira parte ocorre flexionando-se o corpo envolta do cutelo e a segunda etapa do ensaio consiste pela compressão do corpo de prova entre dois pratos, com auxílio, ou não, de um calço.

Após a finalização do ensaio é feito um relatório, que, segundo a norma NBR 06153 deve conter:

- a) A identificação do material
 - Corrida
 - Tipo de material
 - Bitola
 - Produto
 - Tratamentos térmicos ou mecânicos sofridos

- b) Condições de ensaio
 - Ângulo de dobramento
 - Raio da dobra
 - Condições diferentes da especificada em norma

- c) Resultado do ensaio
 - Ruptura ou não do corpo de prova
 - Aparecimento de fissuras ou trincas

- d) Local e data do ensaio.

3 DESCRIÇÃO DA MÁQUINA

3.1 ESTRUTURA DA MÁQUINA

A máquina de testes UHP 60 é uma máquina servo-hidráulica que faz parte de uma família de equipamentos destinados a ensaios mecânicos produzidas pela Losenhausen. Nesta família de equipamentos, a menor máquina, denominada ZHP 4, é capaz de realizar ensaios de tração e compressão com cargas de até 4 toneladas, enquanto a maior máquina, denominada UHP 200, destina-se, prioritariamente, a ensaio de tração e compressão com carga teste de até 200 toneladas, podendo também realizar testes de flexão e testes dinâmicos se acoplada a um pulsômetro (Shaker). A figura (17) mostra a máquina Losenhausen acoplada a um pulsômetro.

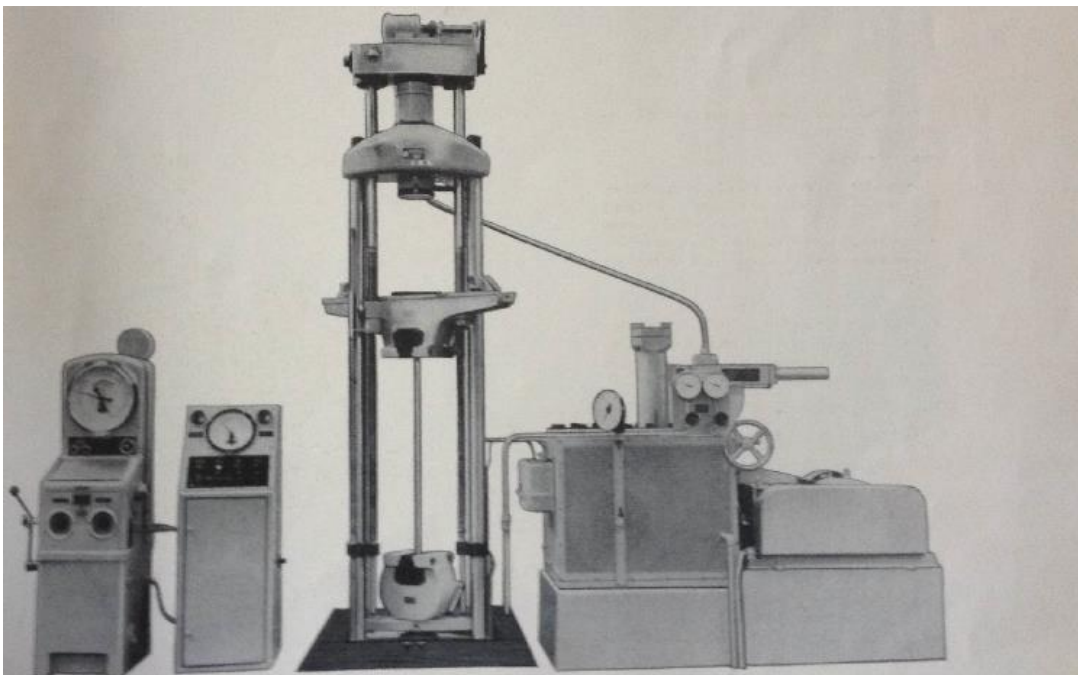


Figura 17. Máquina UHP 60 acoplada a um pulsômetro de 200 cm³ [1]

A máquina UHP 60 pertence a uma classe intermediária de máquinas de teste, podendo realizar testes de compressão e tração com cargas de até 60 toneladas e testes de flexão com cargas de até 10 toneladas. Se acoplada a um pulsômetro pode realizar testes dinâmicos com cargas de até 10 toneladas.

A máquina UHP 60 também pode realizar ensaios especiais, como ensaios de cisalhamento – figura 18, testes de dureza Brinell- figura 19, testes de dobramento se juntamente com a máquina tiverem sido adquiridos equipamentos suplementares para a realização de tais procedimentos. Também podem ser adquiridos equipamentos para testes em amostras em temperaturas extremas (altas e baixas) – figura 20.

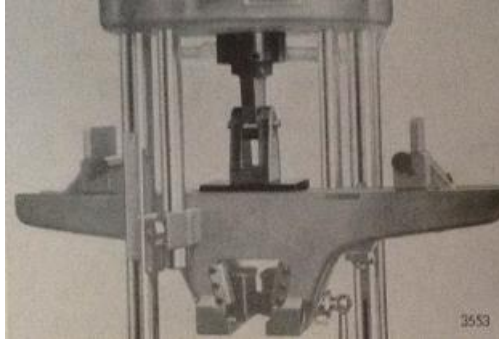


Figura 18. Ensaio de cisalhamento sendo conduzido na máquina UHP 60 [1]

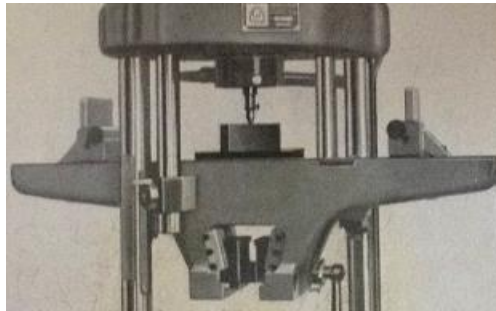


Figura 19. Ensaio de dureza Brinell sendo conduzido na máquina UHP 60 [1]



Figura 20. Teste de tração sendo realizado a 850 °C [1]

A estrutura da máquina é composta, por duas colunas verticais, pelo bloco da máquina e por uma viga transversal, que acomoda o atuador hidráulico.

O painel de controle da máquina UHP 60 encontra-se disposto ao lado da referida máquina e abriga o reservatório de óleo, a bomba hidráulica, os equipamentos elétricos destinados a operação

da máquina e a válvula de pendulo destinado a medir a carga aplicada nas amostras ensaiadas. O painel de controle é conectado a máquina de testes por meio de uma linha hidráulica de pressão, uma linha hidráulica de medida e uma linha hidráulica de retorno como mostra o diagrama disposto na figura 21.

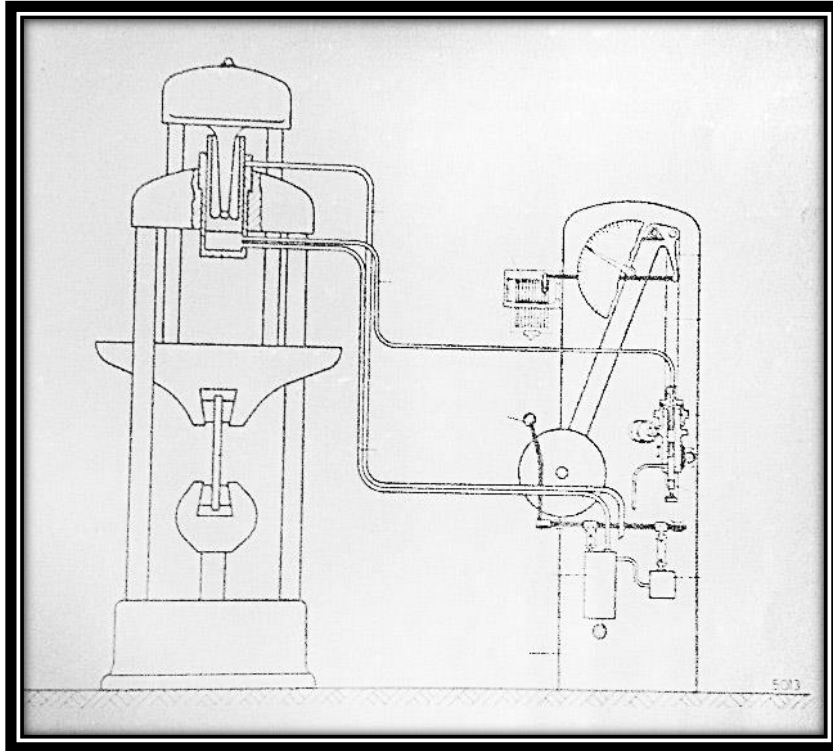


Figura 21. Disposição do painel de controle e linhas hidráulicas [1]

3.2 COMPONENTES DO SISTEMA

3.2.1 Bomba Hidráulica

A bomba utilizada na máquina de testes UHP 60 é uma bomba alternativa submersa vertical, com seis cilindros fabricada pela Bosch, modelo PE – figura 22. Este dispositivo é utilizado para gerar pressão hidráulica para o atuador da máquina de testes.



Figura 22. Bomba hidráulica Bosch modelo PE [1]

Os seis cilindros estão acomodados em uma carcaça. Na parte superior da carcaça encontra-se a câmara de sucção. Cada cilindro possui duas válvulas de alimentação, diametralmente opostas, por meio das quais o óleo proveniente da câmara de sucção entra na câmara de pressão de cada cilindro.

Um eixo excêntrico apoiado em rolamento de agulhas atua sobre os êmbolos. Durante a sucção os êmbolos são movidos para baixo devido a força produzida devido a compressão de uma mola. Ao fim do curso de admissão a válvula de pressão de cada cilindro é fechada impedindo que mais óleo proveniente da câmara de sucção entre no cilindro.

Com a válvula de pressão fechada o óleo é pressurizado até a pressão de trabalho configurada pelo operador. Cada cilindro é conectado a uma linha coletora, as quais se conectam a linha de pressão, que recebe o óleo sob pressão e o entrega ao atuador hidráulico.

Cada embolo, que funciona em cursos fixos, possui um rasgo helicoidal de controle em seu contorno. Desta forma, os êmbolos podem ser girados sobre seus eixos longitudinais durante a operação de forma que a quantidade de óleo entregue pela bomba varie de zero ao máximo

3.2.2 Atuador Hidráulico

O atuador hidráulico da máquina UHP 60 tem como função aplicar a carga de teste selecionada pelo operador a amostra. A força que o atuador aplica sobre a carga é produzida pela bomba localizada no painel de controle e transmitida por meio do atuador hidráulico a carga.

3.2.3 Motores Elétricos

A máquina de testes UHP 60 possui três motores elétricos, cada qual com uma especificação e função.

Um motor elétrico tem como função girar um parafuso sem fim que ajusta a posição da cabeça de fixação inferior, regulando o tamanho do espaço de testes inferior. O motor é acionado por pedais localizados próximos ao bloco da máquina.

Outro motor elétrico é responsável por girar o eixo da bomba, gerando pressão hidráulica para o atuador. Este motor é acionado por meio de botões no painel de controle. O terceiro motor elétrico é responsável pela regulagem da carga de teste controlando a abertura e fechamento da válvula de fluxo.

Na tabela 4 são descritos os motores elétricos:

Tabela 4 - Motores elétricos – Máquina universal de testes UHP 60 [1]

Motores elétricos – Máquina universal de testes UHP 60	
Motor da bomba de óleo	Trifásico, 220 volts: 60 Hz N= 1.5 KW; n= 1700 RPM
Motor do pistão de medida	Trifásico, 220 volts: 60 Hz com fase auxiliar para conexão em corrente alternada N=15 watt; n=3300 RPM com redutor
Motor do regulador de carga teste	Trifásico, 220 volts: 60 Hz N= 140 watt; n=8000 RPM

3.2.4 Painel de Controle

No painel de controle – figura (23), encontram-se os dispositivos de comando da máquina – alavancas, manivelas, botões, além da escala responsável por fornecer a indicação da carga de teste aplicada a amostra e o registrador que plota o diagrama carga vs deslocamento.

No interior deste componente da máquina UHP 60 estão localizados a bomba hidráulica, válvula de pêndulo, similar as utilizadas em balanças analógicas, o motor elétrico que fornece potência a bomba e o regulador de carga de teste e seu motor elétrico.



Figura 23. Máquina UHP 60 e o painel de controle instalados no edifício SG-9

No painel de controle são feitos os ajustes da carga a ser utilizada no ensaio, o controle da vazão da bomba e a leitura do resultado dos ensaios por meio de um marcador com três fundos de escalas.

O primeiro fundo de escala corresponde a medidas de até 12 Mp, o segundo fundo de escala correspondendo a cargas de até 30 Mp e, por fim, o último fundo de escala corresponde a cargas de até 60 Mp. Os três fundos de escala da máquina podem ser visualizados na figura (24).



Figura 24 – Fundo de escala UHP 60

Cada Mp equivale a 1000 kgf, como pode ser visto na figura (25).

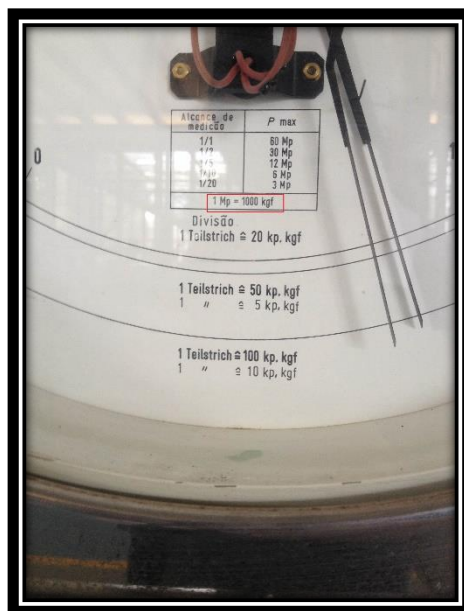


Figura 25 - Detalhe do fundo de escala da UHP 60

Todo o equipamento elétrico da máquina UHP 60 está instalado em um quadro disposto ao lado do painel de controle – figuras (26) e (27).



Figura 26. Vista frontal do quadro elétrico do painel de controle



Figura 27. Vista posterior do quadro elétrico do painel de controle

3.3 ESPAÇOS DE TESTES

3.3.1 Espaço de Testes Inferior

O espaço de testes inferior é a região delimitada pelo equipamento composto pela mesa de flexão/cabeçote de fixação superior e pelo cabeçote de fixação inferior, como mostra a figura 28. Nesta região são realizados testes de tração.

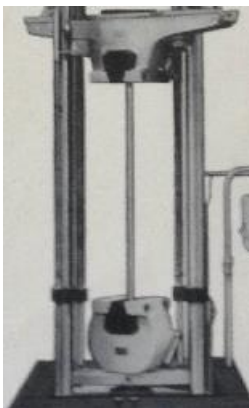


Figura 28. Espaço de testes inferior [1]

A máquina UHP 60 é capaz de realizar testes de tração com carga de até 60 toneladas em amostras com até 600 mm de comprimento.

O ajuste do espaço de testes inferior se dá por meio da movimentação do cabeçote de fixação inferior. Este movimento é controlado por meio de pedais que acionam um motor elétrico acoplado a um parafuso sem fim, regulando assim a posição do cabeçote de fixação inferior.

3.3.2 Espaço de Testes Superior

O espaço de testes superior é a região delimitada pela mesa de flexão e o cilindro do atuador hidráulico – figura 29. Nesta região são realizados os testes de compressão, com cargas de até 60 toneladas, e flexão, com cargas de até 10 toneladas.

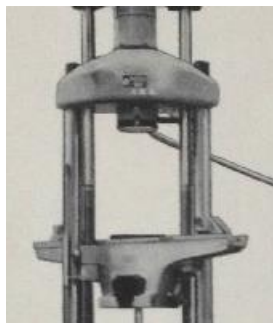


Figura 29. Espaço de testes superior [1]

3.4 FUNCIONAMENTO

A figura (30) mostra uma vista frontal da máquina UHP 60 com suas respectivas partes apontadas e a figura (31) a vista frontal e lateral do painel de controle, com suas respectivas partes apontadas.

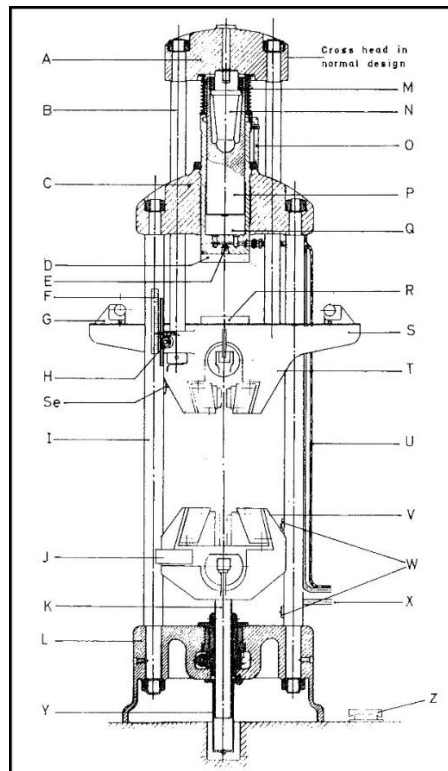


Figura 30. Vista frontal da máquina UHP 60 [1]

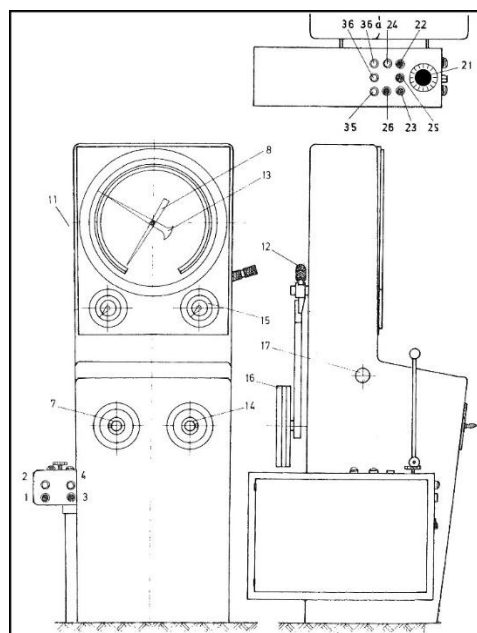


Figura 31. Vista frontal e lateral do painel de controle da máquina UHP 60 [1]

A pressão produzida pela bomba hidráulica faz com que o embolo (P) – figura(30) se mova na direção vertical - para cima. Com o movimento do embolo, a mesa de flexão é puxada através das colunas de tração (B) e da viga transversal (A). Um pivô esférico parafusado na viga transversal (A) se encaixa em um receptáculo semi-esférico usinado na cabeça do embolo (P), de forma a evitar desalinhamentos entre o cilindro e o embolo. Cada posição do embolo é indicada por uma marcação no fundo de escala (F), disposto na coluna vertical (I).

A mesa de flexão é guiada pelas colunas verticais (I) por meio de roletes fixos em rolamentos rígidos de uma carreira de esferas (H). O limitador de curso da mesa de flexão (Se) está localizado na extremidade inferior da coluna de tensão (B) e impede que este dispositivo seja excessivamente conduzido para abaixo.

Acima da mesa de flexão está localizado o espaço de testes superior, onde são realizados testes de flexão e compressão. Abaixo da mesa de flexão está localizado o espaço de testes inferior, onde são realizados testes de tração.

A parte inferior da mesa de flexão (S) é projetada como cabeçote de fixação superior (T). O cabeçote de fixação inferior (V) é guiado pelas colunas verticais (I) por meio de partes deslizantes (J) do cabeçote de fixação. O ajuste é feito por meio de um parafuso-sem-fim acionado por um motor elétrico e o controle é realizado utilizando os pedais localizados próximos ao bloco da máquina.

A bomba que equipa a máquina é uma bomba alternativa vertical da Bosh, com seis êmbolos, capaz de produzir pressões superiores a 360 atmosferas em diversas velocidades de carregamento.

A pressão hidráulica sobre o atuador é transmitida através da linha hidráulica de medida para um pequeno pistão que atua sobre uma válvula de pendulo. O deslocamento do pistão de medida faz com que o pendulo se desloque de sua posição de equilíbrio de acordo com a carga teste aplicada. O deslocamento do pendulo é registrado por um ponteiro em um fundo de escala com unidade em toneladas força.

A deflexão do pendulo é função da carga teste na amostra. A deflexão é transmitida para o ponteiro indicador de carga (8) na escala da válvula pendulo (9) – figura (31).

4 CALIBRAÇÃO

4.1 CALIBRANDO O FUNDO DE ESCALA

Após a correta configuração do painel de controle o ponteiro de carga (8) – figura (31) - deve indicar o 0 da escala quando o pistão de trabalho estiver a aproximadamente 10 mm da base do cilindro – devido a pressão fornecida pela bomba, pois, desta forma, o pistão estará suspenso por uma camada de óleo. Esta calibragem deve ser feita antes de serem colocadas amostras na máquina.

Pequenos deslocamentos do 0 da escala podem ocorrer quando amostras ou equipamentos auxiliares diferentes são colocados na máquina. Estes deslocamentos podem ser corrigidos por meio do parafuso de ajuste (11) – figura (31). Diferenças significativas no peso de amostras, que podem ocorrer devido a amostras ou equipamentos auxiliares muito pesados, podem ser compensadas utilizando-se anilhas (taras) (16) – figura (31), que podem ser encaixadas no balancim da válvula pêndulo. O vidro de proteção da escala contém uma agulha de arrasto (13) – figuras (31) e (32) - a qual, antes de testes de carregamento estático, deve ser pressionada contra o ponteiro de carga (8). Quando a amostra se rompe a agulha de arrasto permanece na posição alcançada e permite a leitura da carga máxima obtida durante o ensaio.

O balancim da válvula pendulo contém um amortecimento hidráulico que diminui a sua velocidade após a ruptura da amostra. Este ajuste não deve ser modificado.

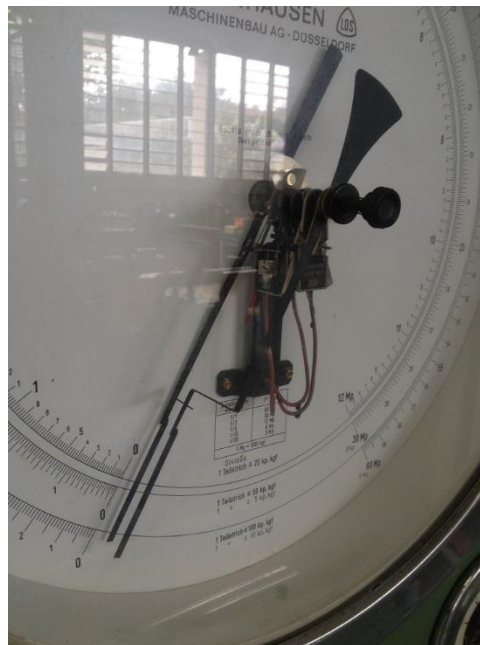


Figura 32. Ponteiro de carga e agulha de arrasto – painel de controle

4.2 CALIBRANDO A VÁLVULA DE PENDULO

Primeiramente, todas anilhas de tara devem ser acopladas a máquina, de forma a obter a carga total. Então, o ponteiro de carga (8) – figura (31), deve ser alinhado com o marcador 0 da escala. Após isso, as anilhas (16) – figura (33), devem ser removidas, exceto a equivalente a 20% da carga. Na menor escala de medida, o ponteiro também deve estar alinhado com o zero da escala. Se houver desvios estes devem ser compensados com ajustes da tara. Repita o procedimento de calibragem até que não existam desvios entre o ponteiro de carga e o zero da escala em qualquer alcance das escalas (carga total, carga média, 20% de carga).

Se o procedimento de calibragem da válvula pendulo não retornar resultados satisfatórios, cheque o alinhamento do painel de controle. O alinhamento pode ser verificado por meio do nível de bolha localizado na parte traseira do painel de carga. Se necessário, deve-se corrigir o alinhamento.

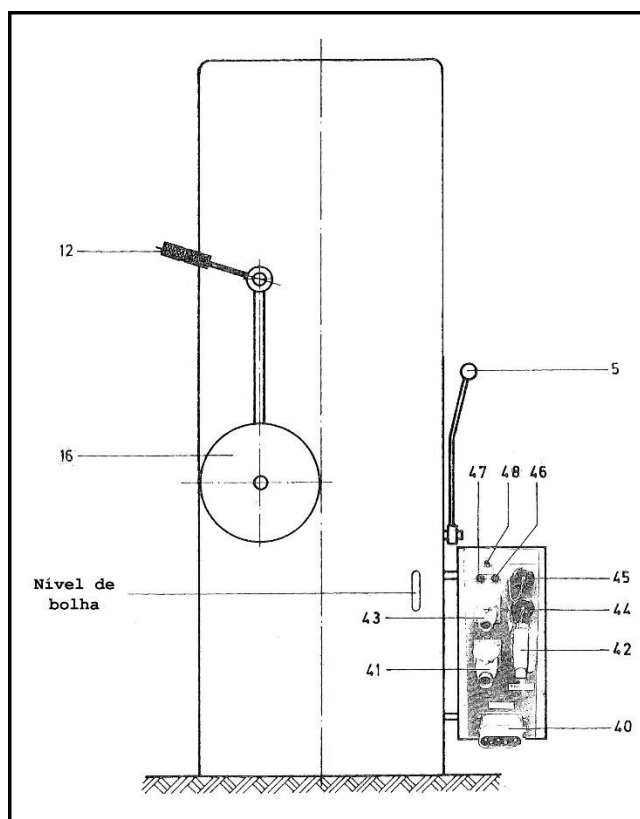


Figura 33. Vista posterior do painel de controle [1]

5 OPERAÇÃO DA MÁQUINA

5.1 PRECAUÇÕES

A máquina Losenhausen UHP 60 foi projetada de acordo com requisitos técnicos e de segurança da década de 60, tendo sido operada por mais de 50 anos na Universidade de Brasília sem registros de acidentes. Todavia, riscos de incidentes ou acidentes durante a utilização do equipamento não são descartados.

Para evitar acidentes ao operar a máquina recomenda-se:

- Realizar a manutenção da máquina de testes periodicamente;
- Seguir as normas de segurança do local de trabalho – edifício SG-9;
- Seguir as orientações contidas neste documento;

5.2 PREPARATIVOS PARA INICIALIZAÇÃO DA MÁQUINA

Antes da máquina ser ligada devem ser verificadas as conexões elétricas, o nível de óleo do reservatório e se existe ar em todo o sistema hidráulico. Os procedimentos detalhados para a sangria do ar do sistema hidráulico, caso necessário, estão descritos nas seções 5.2.2 a 5.2.7 deste trabalho.

5.2.1 Checagem das Conexões Elétricas

Para a conexão elétrica entre o painel de controle e a máquina existe um quadro elétrico independente, localizado ao lado do painel de controle. A descrição dos circuitos de proteção da máquina e das conexões elétricas estão contidas nesta seção do documento:

- Um cabo deve conectar o plugue de alimentação fêmea (41) – figura (33), no quadro elétrico do painel de controle ao plugue de alimentação fêmea (49) – figura (34), quadro elétrico da máquina de ensaio;

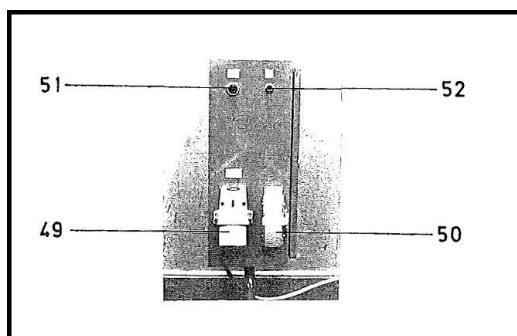


Figura 34. Quadro elétrico máquina UHP 60 [1]

- A máquina UHP 60 deve ser conectada à rede elétrica pelo plugue de alimentação (50) – figura (34) do quadro de elétrico;
- Uma conexão elétrica serve como linha de proteção dos circuitos internos/externos da máquina de testes UHP 60 e de seu painel de controle. Esta conexão é realizada conectando a bucha (46) do painel de controle da máquina – figura (33), a bucha (51) da máquina de testes – figura (34).
- A bucha (52) do quadro elétrico da máquina de testes – figura (33), serve para a conexão de um dispositivo de segurança de desligamento da máquina. Este dispositivo consiste em um cabo com uma saída e duas entradas. A saída deve ser conectada na bucha (52) – figura (34), e as entradas fixadas no topo e na base da amostra por meio de uma braçadeira de porcelana e conectadas por um fio fino que servirá como extensômetro. Durante a realização do ensaio, a amostra atingirá determinado alongamento e o fio irá se fazendo com que máquina a máquina pare.
- Contatos elétricos para limitação das cargas mínima e máxima estão instalados no ponteiro de indicação da carga (8) – figura (31), os quais, com a máquina ligada, estão sob constante tensão. Após a preparação para cada ensaio ser finalizada, estes contatos elétricos devem ser posicionados sobre as cargas teste limites (escala) e, após a realização dos ensaios, devem ser retornados para a posição zero inicial, para garantir que a máquina possa ser corretamente inicializada para os ensaios subsequentes;
- Os contatos elétricos da válvula pendulo e o interruptor de limite de carga no balancim formam o circuito interno de segurança da máquina. Se os equipamentos de segurança estão prontos para a operação a lâmpada de controle (35) – figura (31), acende-se continuamente. Se o circuito de segurança estiver interrompido, o que acontece, por exemplo, se não existir contato no ponteiro de indicação de carga, a lâmpada de controle não se acende e a máquina não ligará;
- Um segundo circuito de segurança é o circuito de segurança externo. A lâmpada de controle (36) ou (36a) acende-se – figura (31), se a máquina estiver pronta para operação. Para este circuito, todos os equipamentos de segurança são conectados com partes da máquina externas ao painel de controle. A conexão do painel de controle a outras partes da máquina é feita por meio de cabos conectados as entradas (46) e (47) – figura (33). Realizando este contato, o circuito externo de segurança irá se sobrepor ao circuito interno. A lâmpada de controle (35) – figura (31) não se acenderá;

5.2.2 Completando os Reservatórios da Máquina com Óleo Hidráulico

O motor não deve ser ligado antes de que as linhas hidráulicas e reservatórios da máquina tenham sido preenchidos com óleo de acordo com a descrição abaixo.

O cilindro de amortecimento no painel de controle deve ser preenchido com o mesmo óleo hidráulico utilizado no reservatório, até aproximadamente 5 mm abaixo da extremidade superior do cilindro utilizando o mesmo tipo de óleo que é usado para lubrificar o eixo da bomba hidráulica.

O reservatório de óleo deve ser completado até aproximadamente 1cm de seu topo. Na parte traseira do reservatório existe um visor do nível de óleo, que pode ser verificado através de uma janela de manutenção no painel de controle, mesmo durante a operação da máquina.

5.2.3 Sangrando o ar das Linhas Hidráulicas

Por vezes é necessário retirar o ar que se acumula nas linhas hidráulicas do sistema. Este procedimento é necessário nas seguintes situações:

- Antes de ligar a máquina pela primeira vez;
- Caso a bomba e as linhas de pressão e de sucção estiverem desconectadas ou com as conexões frouxas, por algum motivo;
- Caso, sabidamente, haja ar nas linhas hidráulicas;

Para a sangria total uma peça de pressão é colocada na máquina de testes entre as placas de pressão.

5.2.4 Sangrando o ar da Bomba Hidráulica

A sangria da máquina começa com a sangria do ar da bomba hidráulica. Desparafuse o parafuso de sangria e deixe a bomba funcionar por um certo tempo de modo que o óleo possa deslocar o ar presente na bomba. Após o óleo estar livre de bolhas, o parafuso de sangria deve ser apertado novamente. A Figura (35) mostra onde está localizado o parafuso de sangria.

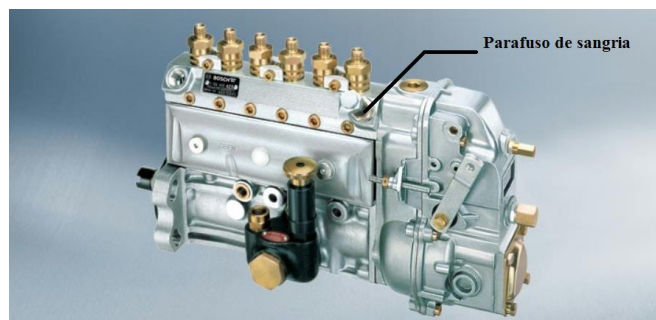


Figura 35. Parafuso de sangria da bomba hidráulica [1]

5.2.5 Sangrando o ar do Coletor

Para a sangria do coletor, desparafuse a parte inferior da união hermética. Após o óleo vir livre de bolhas, reaperte o parafuso. A figura (36) exhibe a localização do parafuso de sangria do coletor.

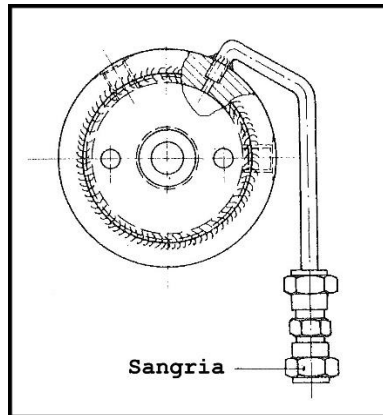


Figura 36. Sangria do coletor [1]

5.2.6 Sangrando o ar do Regulador de Carga Teste

Pressione o embolo até que este volte a uma posição neutra. Aplique uma carga (aproximadamente 5% da carga teste máxima) na peça de pressão (Qualquer corpo de prova que suporte a carga máxima da máquina). Desparafuse o parafuso de sangria, localizado no lado esquerdo da válvula do regulador da carga teste e gire o regulador de carga teste com a roda seletora (14) – figura (33) para direita. Deixe o óleo escoar até que não seja possível enxergar bolhas. Reaperte o parafuso de sangria. O parafuso de sangria do regulador de carga teste pode ser facilmente localizado ao se observar a figura. (37).

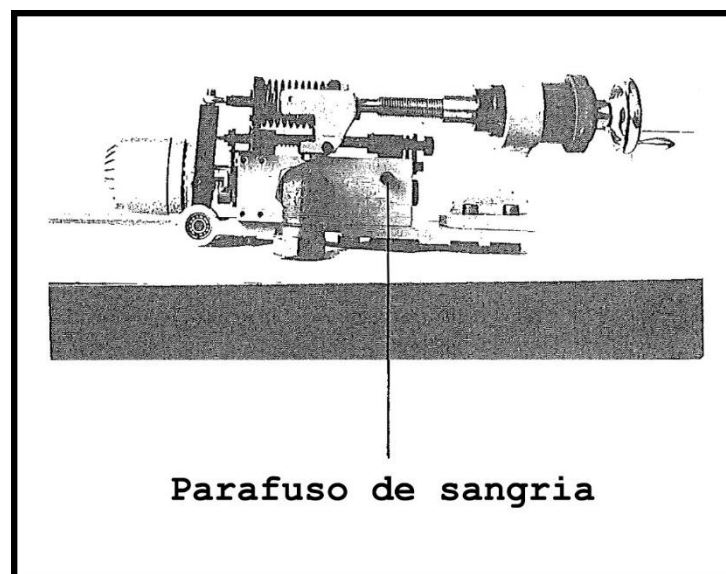


Figura 37. Sangria do regulador de carga teste [1]

5.2.7 Sangrando o ar da Máquina

Para a sangria da máquina e das linhas hidráulicas externas, a carga teste máxima deve ser aplicada a peça de pressão acoplada. Então, descarregue repentinamente. Desta forma o óleo sairá na válvula de descarga da bomba, acima do reservatório de óleo. Repita este procedimento até que o óleo sai livre de bolhas.

5.2.8 Sangrando o ar da Linha de Medida

No painel de controle, acima do cilindro de medida existe uma **peça (indicada na figura)** com um parafuso de sangria. Puxe a alavanca de controle (5) – figura (33) diversas vezes e, então, aplique pressão ao sistema. Desta forma o ar no sistema é pressionado para fora. Este processo deve continuar até que o ar saia sem bolhas. Após este procedimento reaperte o parafuso de sangria. Este parafuso de sangria é acessível – após a cobertura plástica ser removida – através de uma abertura no lado direito do painel de controle. O parafuso de sangria pode ser visualizado na figura (38).

Após sangrar a máquina e a bomba a velocidade de trabalho do pistão deve estar de acordo com o valor indicado no valor em marcha lenta – iddle - na escala de velocidade.

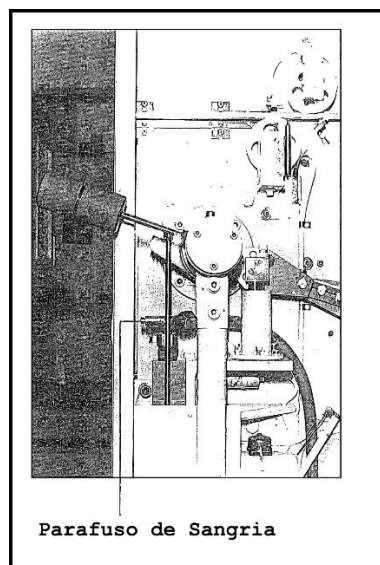


Figura 38. Sangria da linha hidráulica [1]

5.3 INICIALIZANDO A MÁQUINA

O acionamento da máquina UHP 60 e de seu respectivo painel de controle é feito seguindo a seguinte sequência, utilizando a figura (21) como referência:

- Acione o interruptor principal (1), para energizar toda a máquina. Uma lâmpada de controle verde (2) se acenderá;
- Acione o botão (3) para ligar a bomba hidráulica. A lâmpada de controle vermelha (4) se acenderá. A lâmpada de controle verde (2) se apagará;
- Acione o botão (22) para ligar o regulador de velocidade do carregamento BGR para aumento da carga teste, caso necessário. A lâmpada de controle vermelha (24) estará acessa;
- Acione o botão (23) para ligar o regulador de velocidade do carregamento BGR para diminuição da carga teste, caso necessário. A lâmpada vermelha (24) estará acessa;

OBS: Antes do acionamento da máquina as conexões elétricas e o nível de óleo do reservatório devem ser verificados.

5.4 CONFIGURAÇÕES INICIAIS DA MÁQUINA

5.4.1 Seleção do Fundo de Escala

A válvula pêndulo efetua medida em três escalas distintas, sendo que a escala utilizada é determinada pelas anilhas colocadas na haste do pêndulo. Os fundos de escalas são:

- 1) Totalmente carregado;
- 2) Meia carga;
- 3) 1/5 de carga;

O ponteiro indicador da válvula pendulo (9) – figura (31), que exibe as cargas de teste possuem três escalas individuais:

- Escala externa: alcance máximo da escala - carga total 60 Mp ou 60 tonf;
- Escala central: alcance máximo da escala - meia carga 30 Mp ou 30 tonf
- Escala interna: alcance máximo da escala - 1/5 da carga 12 Mp ou 12 tonf;

Devido a utilização de pistões polidos, e a eliminação de fricção, adesão e a ausência de anéis e camisas de retenção a resistência a fricção dos elementos de transmissão usadas nas medidas foram reduzidas a níveis muito pequenos. Também são utilizados materiais de elevada dureza e primeira qualidade, além de graus elevados de acabamento superficial para se obter a maior

acurácia possível na medição das cargas de teste. A Losenhausen garante uma acurácia de +_1% no valor indicado, em conformidade com a classe I DIN 51220.

5.4.2 O Regulador de Carga de Teste

O regulador de carga de teste serve para manter a carga teste de acordo com o exigido pelo operador ou para limitar uma carga teste pré-selecionada que não deve ser ultrapassada.

O regulador de carga teste é um circuito de regulação independente, que não depende da válvula pendulo. Então o valor indicado na escala de carga constante (15) – figura (31) - mostra valores absolutos, de acordo com a capacidade da máquina em toneladas força.

A manivela (14) – figura (31) - serve para ajustar a carga teste requerida que deve ser mantida durante o ensaio. A escala (15) serve para pré-configurar esta carga. Girar a manivela (14) para a direita incrementa a carga. Girar a manivela para esquerda diminui a carga.

Para testes com o regulador de carga teste a manivela (14) – figura (31), deve ser girada para esquerda até o batente. Pré-configurando a bomba de óleo: aproximadamente ½ vazão. A regulação da carga teste agora é feito com a manivela (14). Após a ruptura da amostra a manivela (14) deve ser girada para sua posição inicial (0).

5.5 ACOPLANDO UMA AMOSTRA

A amostra deve ser ajustada no espaço de testes sempre com o atuador hidráulico suspenso. As amostras devem estar centralizadas no espaço de testes afim de evitar que erros na medida da carga de teste ocorram.

Uma amostra é considerada alinhada ao eixo da máquina quando os roletes guia (H) – figura (30) - da mesa de flexão deslizam suavemente pela coluna vertical (I) em os estágios de carregamento da máquina.

Para ajustar a distância entre as cabeças de fixação superior e inferior de acordo com o tamanho da amostra utiliza-se o pedal (Z).

Atenção: Para todo teste de tração a placa de pressão (R) – figura (30) deve ser removida da mesa de flexão.

5.5.1 Teste de Compressão

Para testes de compressão basta posicionar a amostra de forma centralizada no espaço de testes superior – figura (30) - sobre a placa de pressão retangular (R) - localizada sobre a mesa de flexão – e então regular a altura do cabeçote superior por meio dos pedais, de forma que a amostra faça contato com a placa de pressão circular superior (D).

5.5.2 Teste de Tração

Para testes de tração a amostra deve ser posicionada no espaço de testes inferior e fixada por meio dos sargentos presentes nos cabeçotes inferior e superior. O ajuste da altura do cabeçote superior é feito utilizando-se o pedal (Z) – figura (30).

5.5.3 Teste de Flexão

Para testes de flexão a amostra deve ser posicionada apoiada sobre os suportes da mesa de flexão (S) – figura (30) - e então deve ser feita a regulagem da altura do cabeçote superior por meio dos pedais, de forma que haja contato entre a placa circular (R) e a amostra.

5.6 CONDUZINDO TESTES DE TRAÇÃO, COMPRESSÃO E FLEXÃO

5.6.1 Testes sem o Regulador de Carga de Teste

Para todos os tipos de teste, o contato entre a amostra e a máquina deve ser feito com a máquina operando em marcha lenta, de forma a evitar um súbito aumento na indicação da carga de teste.

O ponteiro de arrasto (13) – figura (31) - deve ser fixado ao ponteiro de carga (8) e as manivelas de controle (14) e (7) devem ser giradas para esquerda até o batente no início e no fim de cada ensaio, de forma a evitar que as próximas amostras a serem ensaiadas sejam subitamente carregadas. Para que a carga seja aplicada a amostra basta que a alavanca de controle (5) seja empurrada.

5.6.2 Testes utilizando o Regulador de Carga de Teste

A máquina UHP 60 possui um dispositivo para limitar a carga teste aplicada a uma amostra. Este dispositivo é indispensável para testes em que a carga a ser aplicada a uma amostra é conhecida deve ser mantida durante todo o experimento. Este dispositivo fornece uma proteção contra a sobrecarga sobre as amostras.

Este dispositivo permite testes de longa e curta duração, testes de amostras sensíveis – as quais a carga de teste não deve ser excedida, ensaios para determinação do módulo de elasticidade e máximo alongamento do material ou testes em materiais muito elásticos e equipamentos de controle.

5.6.2.1 Testes de Curta Duração

Testes de alongamento da amostra só podem ser realizados utilizando o regulador de carga de teste. Deve-se girar ambas as manivelas (7) e (14) – figura (31) - para esquerda até o batente e ajustar a vazão da bomba com a alavanca de controle (5) a meia vazão, de acordo com a escala

(6). Trave a alavanca de controle utilizando o parafuso de trava e gire a manivela (14) para a direita. O atuador irá, desta forma, aplicar a carga de teste selecionada a amostra.

5.6.2.2 Testes de Longa Duração

Quando necessário manter uma carga de teste atuando sobre a amostra por um longo período deve-se configurar a carga desejada grosseiramente utilizando a manivela (14) – figura (31) – a indicação aproximada da carga teste selecionada pode ser visualizada na escala (15). Em seguida, deve-se empurrar a alavanca de controle (5) até que a carga teste atinja o valor estipulado. Quando o valor for atingido, a alavanca de controle (5) deve ser travada e a carga de testes a ser aplicada deve ser ajustada (ajuste fino) utilizando-se a manivela (7). A manivela (7) deve ser girada lentamente de forma que a variação na carga possa ser corrigida. O valor da carga teste aplicada pode ser visualizado na escala (14) do painel de controle.

O valor da carga de teste deve ser verificado periodicamente no painel de controle e, se necessário, ajustado utilizando-se a manivela (7) – figura (31), girando-a para direita (adicionar carga) ou para esquerda (retirar carga).

5.7 DESLIGANDO A MÁQUINA

Ao fim de cada teste, antes de se retirar a amostra, deve-se desligar a máquina.

Para isso, primeiramente, deve-se girar as manivelas (7) e (14) – figura (31) - para esquerda até o batente e deve-se puxar a alavanca de comando até o batente.

Após isso:

- Acione o botão (3a) – figura (31), para desligar a bomba hidráulica.
- Acione o botão (1) – figura (31), para interromper o fornecimento de energia para toda a máquina. Todas as luzes se apagarão.

6 MANUTENÇÃO

A manutenção da máquina UHP 60 consiste na checagem periódica do nível dos reservatórios de óleo, checagem das conexões hidráulicas para verificação de vazamentos e eventual lubrificação de rolamentos e válvulas além da substituição dos filtros.

O óleo utilizado na máquina UHP 60, de acordo com o fabricante, é o SHELL Tellus 69 ou o MOBIL DTE extra heavy.

Os óleos supracitados, de acordo com os fabricantes, estão de acordo com as normas DIN 51515-1: 2010-02 e DIN 51517-2: 2009-06 possuindo uma classificação de viscosidade ISO 100. Desta forma, um óleo nacional equivalente é o óleo LUBRAX Turbina ou LUBRAX Turbina plus com viscosidade ISO 100.

O óleo deve ser substituído quando o nível do reservatório estiver baixo. Outra razão para substituição do nível de óleo é a mudança na aparência do óleo. De acordo com os fabricantes, este tipo de óleo permite que água e outras substâncias sejam rapidamente separadas do fluido circulante quando o óleo estiver no reservatório. Portanto, o óleo deve apresentar uma coloração clara. Caso a aparência do óleo seja diversa, este deve ser substituído.

Também devem ser feitas verificações antes de cada ensaio, afim de verificar-se folga nas conexões hidráulicas e elétricas. Recomenda-se, uma vez ao mês abrir-se o painel de controle afim de verificar as conexões hidráulicas do atuador hidráulico da linha de medida e da bomba.

Durante esta verificação realiza-se a lubrificação da válvula de controle de fluxo.

7 GUIA RÁPIDO PARA ENSAIOS DE TRAÇÃO

7.1 PROCEDIMENTOS PRÉ-ENSAIO

1 – Estimar a carga de ruptura do material. Para isso deve-se efetuar a medida do diâmetro do corpo de prova utilizando um paquímetro e verificando o limite de ruptura para material similar em tabelas. Então, utiliza-se a equação (8) para estimar a carga máxima a ser aplicada durante o ensaio.

2 – Baseado na carga máxima estimada, seleciona-se o fundo de escala adequado para realização do ensaio. Isso é feito selecionando-se a quantidade de taras (16) – figura (31) - adequadas na parte posterior do painel de controle.

3 – Se não for utilizar um extensômetro durante a realização do ensaio, deve-se marcar o corpo de prova em “n” partes iguais. Para tanto utiliza-se procedimento descrito na seção 2.3 deste documento. A figura (11) serve como referência. A figura (39) mostra um corpo de prova sendo marcado para execução de ensaio de tração.

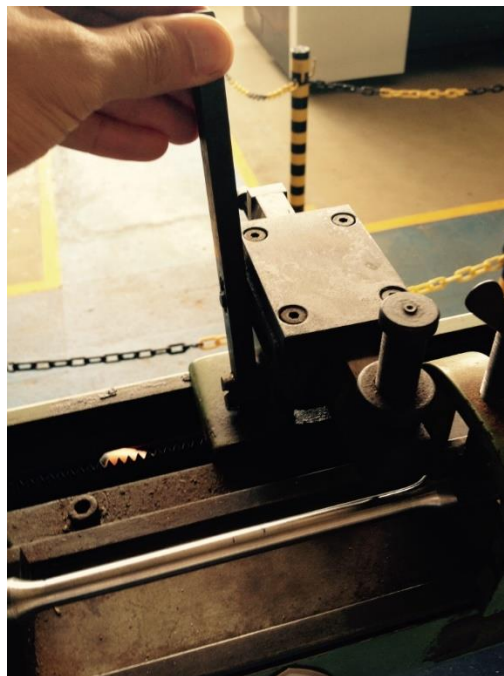


Figura 39 – Corpo de prova sendo marcado

4 – Efetua-se a medição do comprimento inicial “L” útil do corpo de prova. Este comprimento corresponde a medida entre a primeira e a última marcação do corpo de prova.

5 – Selecionar a cunha adequada para fixação do corpo de prova na máquina UHP 60. Isso é feito medindo-se o diâmetro da cabeça de fixação do CP e selecionando uma cunha compatível.

6 – Fixar papel milimetrado no registrador do painel de controle. Utiliza-se fita adesiva para fixar o papel, como visto na Figura 40 (40).



Figura 40 – Registrador da máquina Losenhausen UHP 60

7 – A caneta marcadora deve ser posicionada na posição 0 do papel milimetrado.

8 – Antes de ligar a máquina devem ser checadas as conexões elétricas e hidráulicas por meio de uma inspeção visual.

9 – Acionamento da máquina: Procedimento indicado na seção 5.3 deste texto.

10 – Com a máquina acionada, seleciona-se a carga de teste máxima a ser aplicada pela máquina. Isso é feito girando a manivela (14) – figura (31) até a carga selecionada ser atingida na escala (15) – figura (31). A bomba de óleo deve estar a 1;2 vazão.

7.2 EXECUÇÃO DO ENSAIO

1 – Fixa-se a amostra no espaço de testes inferior. Procedimento descrito na seção 5.5. A Figura 41 mostra um corpo de prova fixado ao espaço de testes inferior.



Figura 41 – Corpo de prova fixado ao espaço de testes inferior

2 – Aplica-se a carga, atentando-se para o ponto no qual o ponteiro do mostrador irá se estabilizar (ponto de escoamento da amostra) e para o ponto de ruptura do CP. Ao ocorrer o rompimento do CP a caneta deve ser afastada do registrador, de forma a obter um gráfico adequado.

3 – Ao ocorrer o rompimento do corpo de prova gira-se a manivela 14 no sentido anti-horário até o batente.

7.3 DESATIVAÇÃO DA MÁQUINA

1 – Segue-se o procedimento descrito na seção 5.7..

8 ENSAIOS PARA VERIFICAR A OPERACIONALIDADE DA LOSENHAUSEN UHP 60

Para verificar a operacionalidade da máquina Losenhausen UHP 60 foram realizados 4 ensaios de tração, sendo dois realizados em uma máquina MTS, com supervisão dos técnicos responsáveis pelo laboratório e os outros dois ensaios na própria máquina Losenhausen. Foram utilizados corpos de prova de aço 1020 normalizados a 850 graus Celsius por 24 horas.

8.1 ENSAIOS MTS

A dimensões dos corpos de prova utilizados nos ensaios 1 e 2 encontram-se dispostas na tabela (5). Foi desenvolvida uma rotina em MATLAB para plotagem da curva tensão deformação e cálculo do limite de resistência a tração, limite de escoamento e módulo de elasticidade dos corpos de prova utilizados. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 5 - Dimensões dos corpos de prova. A rotina para o cálculo encontra-se disponível no anexo I.

Tabela 5 - Dimensões dos corpos de prova

	L_0 (mm)	D_0 (mm)	Material
Corpo de prova 1	138,3	10,20	Aço 1020 normalizado a 850 °C
Corpo de prova 2	135,3	10,05	Aço 1020 normalizado a 850 °C

A figura (42) mostra o corpo de prova fixado a máquina MTS para a condução do ensaio e a figura (43) e figura (44) são as curvas tensão vs deformação dos corpos de prova 1 e 2.



Figura 42 – Corpo de prova fixado a máquina MTS

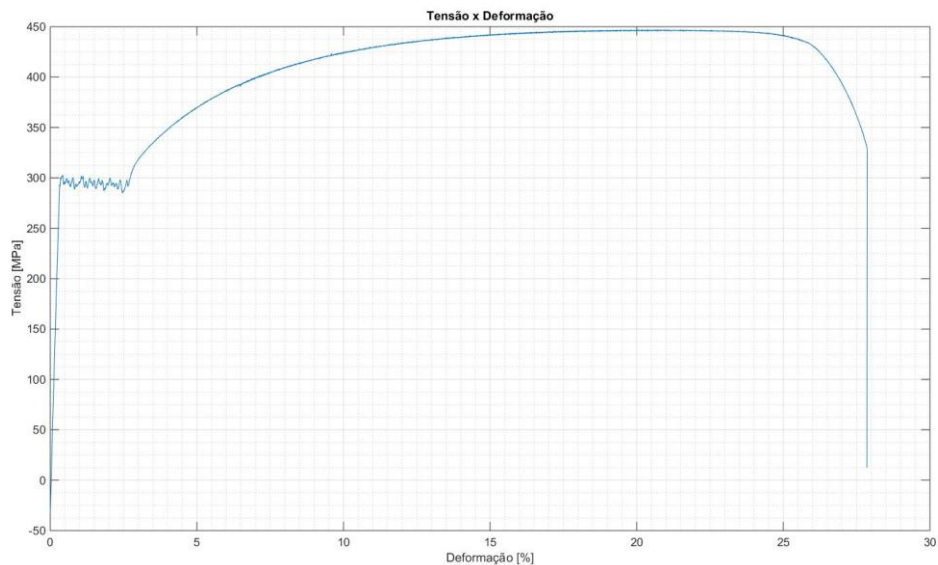


Figura 43 - Curva tensão vs deformação corpo de prova 1 – Ensaio realizado na MTS

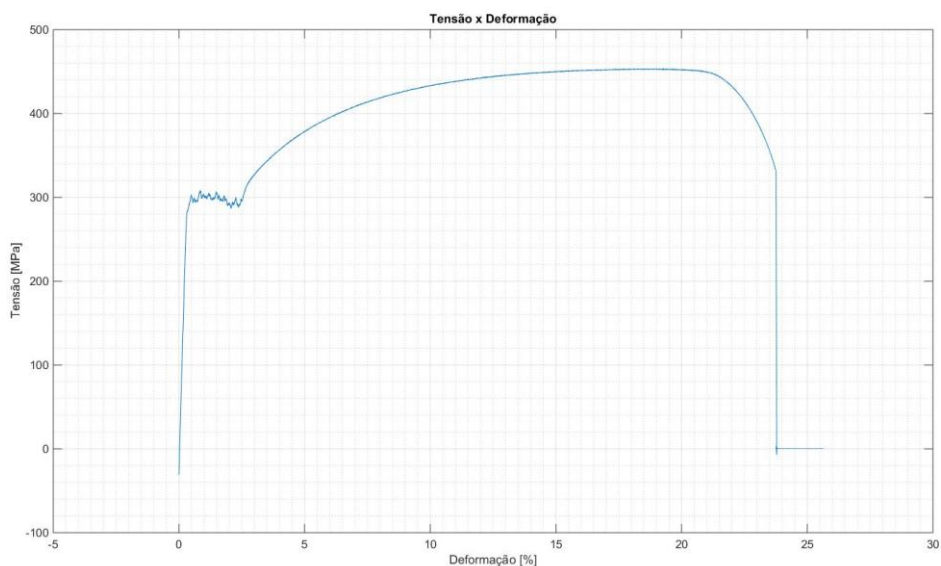


Figura 44 - Curva tensão vs deformação corpo de prova 2 – Ensaio realizado na MTS

Os resultados dos ensaios realizados na máquina MTS podem ser visualizados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultado ensaios MTS

	LE (MPa)	LR (MPa)
Corpo de prova 1	296,44	447,43
Corpo de prova 2	295,56	453,9

8.2 ENSAIOS LOSENHAUSEN

O ensaio realizado na LOSENHAUSEN seguiu os procedimentos descritos na seção 7 deste trabalho. As dimensões dos corpos de prova seguem na Tabela 7. A figura (45) mostra o corpo de prova marcado e pronto para execução dos ensaios.

Tabela 7 - Dimensões dos corpos de prova

	L_0 (mm)	D_0 (mm)	Material
Corpo de prova 3	120	10,10	Aço 1020 normalizado a 850 °C
Corpo de prova 4	120	10,00	Aço 1020 normalizado a 850 °C

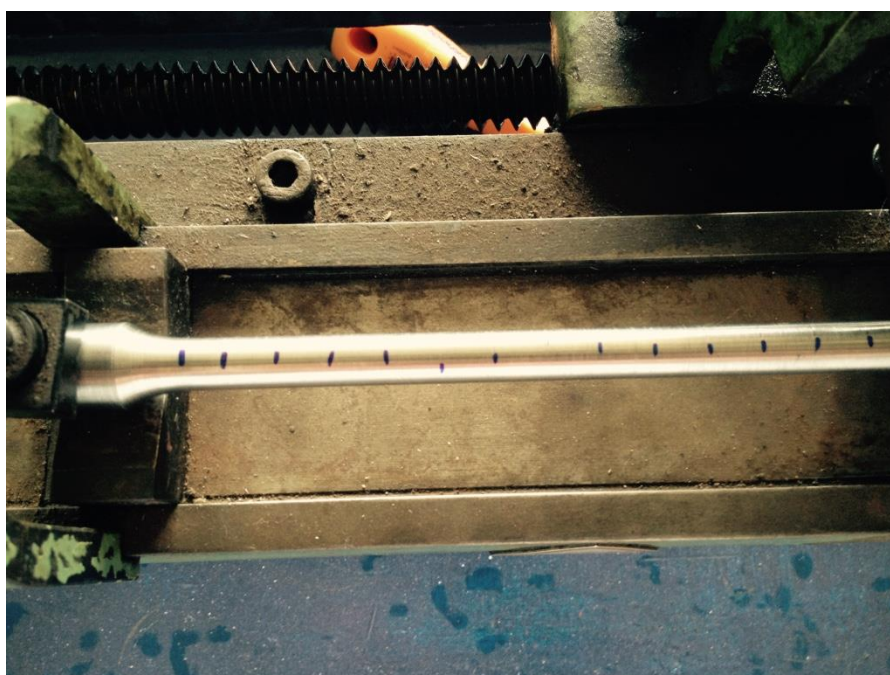


Figura 45 - Corpo de prova marcado

Foi utilizado um disco de tara, totalizando 20% da carga, de forma a utilizar a menor escala do painel de controle, como pode ser visualizado na figura (46).



Figura 46 - Discos de tara

Durante a execução do primeiro ensaio conseguiu-se obter um valor de 3810 Kgf para o limite de ruptura do material, sendo esta carga equivalente a uma tensão de ruptura de 475 MPa e um limite de escoamento de 2492 kgf, sendo esta carga equivalente a uma tensão de escoamento de 311 MPa. Durante a execução do primeiro ensaio o corpo de prova rompeu-se próximo a marcação central. A estrição do corpo de prova 3 pode ser vista na Figura 47.

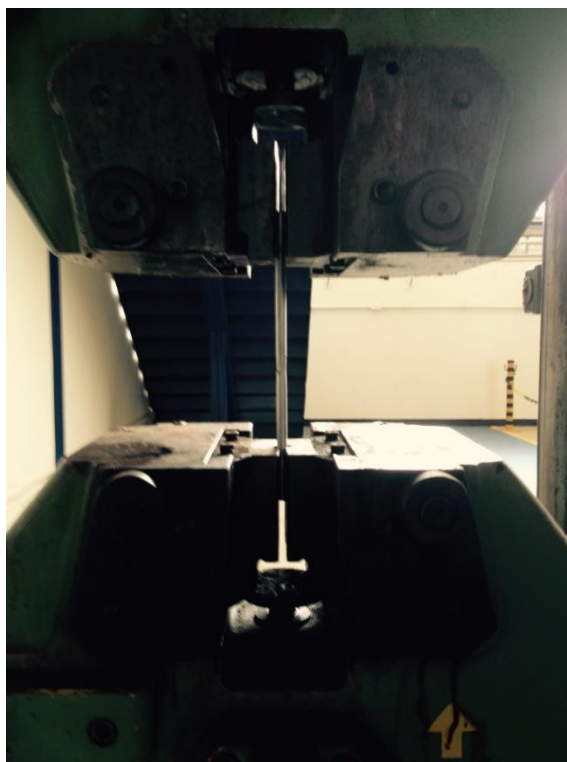


Figura 47 - Estrição do corpo de prova

O alongamento do corpo de prova foi medido utilizando-se a metodologia descrita na norma ABNT 06152 e o alongamento do primeiro corpo de prova foi de aproximadamente 31,118%.

Durante a realização do ensaio na LOSENHAUSEN UHP 60 houve problema com o registrador, não sendo possível plotar a curva tensão deformação satisfatória.

Durante a execução do segundo ensaio o mostrador não registrou carga alguma, embora o corpo de prova tenha rompido. O registrador também não funcionou adequadamente, de forma que não foi possível obter-se dados relativos ao segundo ensaio realizado na máquina UHP.

O corpo de prova rompeu-se em região distante da zona central, como pode ser visto na figura (48), sendo que foi utilizado a metodologia descrita na norma ABNT 06152 para calcular o alongamento do corpo de prova. O alongamento foi calculado como 21,043%.



Figura 48 - Corpos de prova rompidos

Pelo fato do registrador não estar operante durante a realização dos ensaios não foi possível estimar o módulo de elasticidade dos corpos de prova utilizando a LOSENHAUSEN.

9 RETROFIT DE MÁQUINAS DE ENSAIOS UNIVERSAIS

A máquina de ensaios universal Losenhausen UHP 60 é um equipamento muito robusto e adequado para ensaios em que são necessárias a aplicação de grandes carregamentos. Durante a elaboração deste trabalho foi observado, entretanto, a defasagem ou inoperância de certos componentes do equipamento, de forma que a realização dos ensaios, que seriam utilizados para validação da rotina proposta neste trabalho, foi prejudicada.

O conserto da máquina, substituindo os componentes avariados é possível, porém, entende-se que, para tornar o equipamento compatível com as práticas de engenharia atuais, que envolvem alta precisão nas medidas dos ensaios e a utilização de computador para resolução dos cálculos é necessária a realização de um *retrofit* na máquina UHP 60, de forma a melhorar as suas capacidades na realização de ensaios mecânicos.

O *retrofit* de um equipamento do porte da máquina UHP é recomendado ao invés de seu descarte e substituição. Isso se deve ao fato do elevado custo de máquinas de ensaio universais. Este tipo de equipamento tem custos de aquisição variando entre \$35.000,00 e \$200.000,00 dependendo da capacidade de carga desejada, ao ponto que a modernização de um equipamento deste tipo custa entre \$500,00 e \$30.000,00, dependendo do tipo de *upgrade* desejado e da capacidade do equipamento.

Para máquinas como a UHP 60, que utilizam atuadores simples para a aplicação da carga sobre a amostra, existem 5 tipos de intervenções que poderiam ser realizadas.

9.1 BÁSICO

Mantém o sistema de controle manual do equipamento e substitui do sistema de indicação da carga. No caso da UHP 60, seria substituído a válvula de pêndulo, responsável por medir a carga aplicada a amostra.

Os sistemas mais sofisticados são capazes de calcular a deformação por meio do método *halt of the pointer*. Também é possível baixar os dados de carga vs tempo relativos ao ensaio para um computador. Neste tipo de atualização o sistema de pêndulo para medição da carga seria substituído por uma célula de carga que seria acoplada a um indicador digital de um canal. A figura (49) mostra um indicador digital e uma célula de cargas fabricados pela empresa especializada no *retrofit* de máquinas de ensaios universais ADMET.



Figura 49 - Indicador digital de um canal e célula de carga fabricados pela ADMET [20]

A figura (50) mostra uma célula de carga da família ME com capacidade variando entre 2 tonf a 100 tonf. Este tipo de célula de carga é adequado para realização de ensaios mecânicos, de acordo com o fabricante AEPH.

Uma célula de carga da família ME com capacidade de suportar esforços de 100 toneladas força seria adequada a capacidade de carregamento do bloco da máquina UHP 60. Para a instalação deste equipamento seriam necessárias poucas modificações na estrutura da máquina, sendo necessário apenas fixar adequadamente a célula de carga ao bloco da máquina.



Figura 50 - Célula de carga da família ME do fabricante AEPH [21]

Uma vantagem obtida na modernização da máquina UHP 60, substituindo o mecanismo de medida de carga por uma célula de carga seria o aumento na precisão dos ensaios. Quando calibrada, de acordo com o fabricante, a válvula pêndulo possuiria um erro máximo de 1%, enquanto células de carga possuem erros da ordem de 0,1%.

Um indicador compatível para a célula de carga proposta seria o indicador digital para célula de carga DYNISCO 1390 ou o indicador para máquinas de ensaio modelo 3105c da ALPHA INSTRUMENTOS – figura (51).



Figura 51 - o indicador para máquinas de ensaio modelo 3105c da ALPHA INSTRUMENTOS [22]

9.2 3 CANAIS

A utilização de um sistema de indicação com dois ou três canais. Este tipo de atualização permite que sejam medidas as cargas aplicadas durante a realização do ensaio e/ou a deformação e deslocamento do corpo de prova. Máquinas que sofrem este tipo de atualização são capazes de calcular a deformação, módulo de elasticidade, tensão de ruptura e plotar diagramas tensão x deformação. Tal qual o primeiro tipo de upgrade, também é possível a exportação dos resultados do ensaio para um computador. A figura (52) exhibe um indicador de três canais fabricados pela ADMET.



Figura 52 - Indicador 3 canais ADMET [20]

Neste tipo de atualização, tal qual no tipo de citado na seção 9.1., é utilizada uma célula de carga para obtenção dos carregamentos aplicados ao corpo de prova durante a realização de um ensaio e extensômetros, usualmente do tipo *straingauge*, para as medidas de deformação e deslocamento do corpo de prova.

9.3 ATUALIZAÇÃO BASEADA EM PC

Fabricantes como a ADMET oferecem pacotes completos de upgrade de equipamentos de testes, de forma que ao se adquirir um sistema para upgrade de máquinas de ensaios baseado em PC o software necessário para leitura de dados e análises mecânicas está incluído – no caso, o MTEST Quattro Materials Testing System. Porém, é possível que o proprietário de uma máquina de ensaios faça a atualização do equipamento e desenvolva seu próprio programa, de forma que este atenda a suas demandas.

Para este tipo de atualização é necessária a utilização de um sistema de condicionamento de sinal para aplicações de instrumentação baseadas em PC como o SCXI, fabricado pela NATIONAL INSTRUMENTS – figura (53).



Figura 53 - Sistema de condicionamento de sinal SCXI - National instruments [23]

É o tipo de atualização mais completo para máquinas manuais, como a UHP 60. Além de possuir as mesmas características da atualização utilizando o sistema de 3 canais, soma-se a possibilidade de realização de cálculos relacionados a ensaios em materiais plásticos. Também existe a maior flexibilidade inerente ao uso de um computador, facilitando a manipulação de dados relativos aos ensaios realizados.

No Brasil, este tipo de atualização foi realizado com sucesso por alunos da USP. Na atualização realizada pelos estudantes, foi utilizado uma placa de som como dispositivo de captura de dados dos extensômetros utilizados e a interface com o operador foi formulada por meio do software MATLAB. O diagrama de módulo do projeto pode ser visualizado na figura (54).

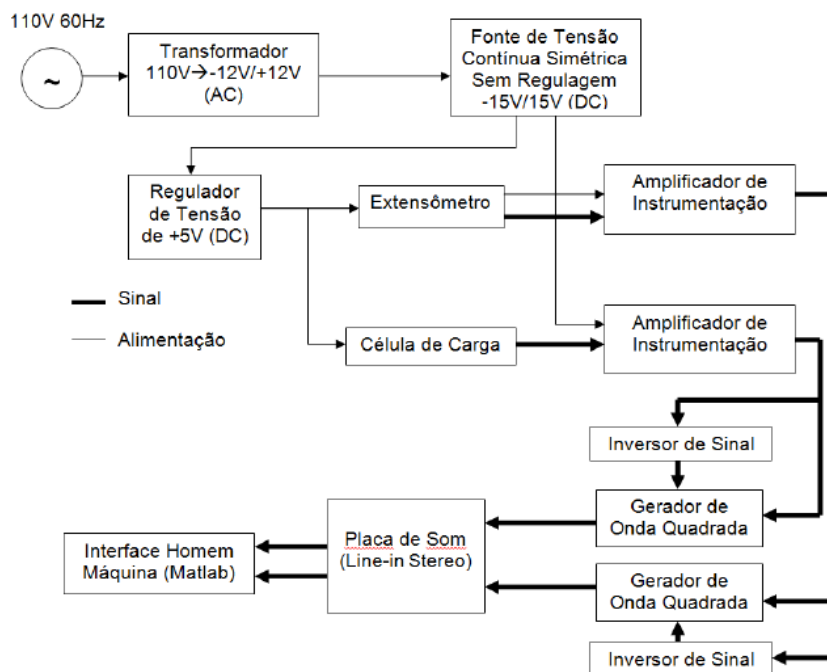


Figura 54 - Diagrama de módulos de projeto de retrofit de máquina universal de ensaios [24]

9.4 ATUALIZAÇÃO BÁSICA DO SISTEMA DE CONTROLE

Consiste em substituir em uma atualização em que o sistema hidráulico da máquina é mantido, porém as válvulas são substituídas, de forma que sejam controláveis eletronicamente. Em conjunto, é utilizado um indicador multicanal, de forma que a máquina seja capaz de realizar testes em que são medidas a carga e a deformação. Neste tipo de atualização o operador do equipamento possui um controle preciso da carga que está sendo aplicada sobre a amostra.

9.5 ATUALIZAÇÃO COMPLETA DO SISTEMA

Consiste em substituir todo o sistema hidráulico da máquina, de forma que seja possível controlá-la por meio de um computador. Desta forma, todos os parâmetros relacionados ao ensaio, como carga aplicada, taxa de deformação podem ser controlados. Neste tipo de upgrade a máquina também passa a ser capaz de realizar ensaios dinâmicos.

CONCLUSÃO

Ensaio mecânicos são fundamentais na prática da engenharia, pois possibilitam conhecer características específicas de cada material necessárias para projetos de engenharia.

Para se obter resultados precisos acerca das propriedades dos materiais, procedimentos padrão de execução de ensaios devem ser seguidos e maquinário adequado deve ser utilizado.

Durante a operação de equipamentos mecânicos, é fundamental que o operador conheça as características da máquina operada, tanto para sua segurança, quanto para segurança de terceiros e para a obtenção de resultado satisfatórios ao fim para o qual o equipamento foi planejado.

Neste sentido, é mandatório que manuais com boas práticas de uso, manutenção e calibração estejam disponíveis para instrução e consulta dos operadores.

Ao realizar-se os ensaios mecânicos para verificação do estado da máquina constatou-se avarias em diversos componentes, de forma que foi inviabilizado o ensaio adequado dos corpos de prova. Durante a inspeção da UHP 60 para verificação do motivo dos travamentos que ocorreram durante a execução dos testes e da inoperância do equipamento registrador dos diagramas carga x deslocamento e do sistema de medição de carga foi feita uma análise dos componentes que devem ser substituídos. A substituição destes equipamentos tornará a máquina, novamente, operacional.

O painel de controle foi aberto e foi verificado que os cabos (linhas industriais) que movimentam o sistema registrador do diagrama carga x deslocamento encontram-se rompidos. Um dos cabos é responsável por girar o registrador do diagrama, de forma que o deslocamento do corpo de prova é plotado. O segundo cabo movimenta o mecanismo responsável por registrar a carga de teste. Ambos os cabos se romperam devido a fadiga. A substituição deste componente é simples e pode ser feita em pouco tempo.

Também foi verificado problemas na linha de medida, em região próxima ao atuador responsável por transmitir a carga a válvula de pêndulo. Esta válvula é responsável por movimentar o registrador da carga de teste. A inoperância do atuador hidráulico sobre este componente implica na impossibilidade de leitura da carga de teste aplicada sobre a amostra. Desta forma, deve ser feita uma inspeção mais detalhada, envolvendo-se a retirada do atuador da linha de medida afim de verificar seu estado de conservação e também devem ser verificados possíveis vazamentos que acarretam perda de pressão na linha hidráulica de medida. Caso haja algum vazamento considerável nesta linha hidráulica, a tubulação deve ser substituída.

Foi verificada a existência de folga nos mancais que suportam o eixo de controle da válvula que controla a abertura e fechamento da válvula de fluxo. Quando se movimenta a alavanca de controle o eixo excêntrico é girado de forma de forma a movimentar um came que abre ou fecha a válvula de alimentação do atuador. A folga nos mancais que suportam este componente fez com

que a distância entre o came e a válvula esteja maior do que as condições de projeto, de forma que por vezes ocorrem problemas para se acionar o atuador que aplica a carga de teste.

Por fim, existe desgaste na válvula de fluxo, de forma que este componente deve ser substituído. A válvula permaneceu sem manutenção adequada ao longo de 50 anos e por vezes trava em determinada posição, de forma que inviabiliza um controle preciso da carga de teste aplicada ou inviabiliza a aplicação de carga.

A UHP 60 possui, atualmente, diversos problemas mecânicos, porém, o bloco da máquina, o atuador hidráulico responsável por aplicar a carga de teste, e a bomba encontram-se em perfeito estado de conservação. Por estes serem os principais componentes da máquina UHP 60, além de serem os mais caros, sugere-se uma manutenção nos componentes defeituosos e, quando for o caso, a substituição do componente.

Devido ao bom estado do sistema hidráulico principal da máquina, é aconselhável o upgrade da máquina incorporando um sistema de aquisição de dados de três canais. Caso o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília também veja a necessidade de execução de ensaios em matérias plásticos é recomendado a atualização para um sistema de aquisição de dados de três canais acoplado a um sistema PC.

A atualização do sistema de controle não é necessária, uma vez que a máquina UHP 60 já possui um dispositivo regulador de carga de teste. Embora este mecanismo seja rudimentar, é plenamente funcional, caso a válvula de controle de fluxo seja substituída.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LOSENHAUSEN. **Tensile and Universal Testing Machines. Catálogo.**
- [2] **Ensaio Mecânico dos Materiais.** Disponível em: <<https://jorgeteofilo.files.wordpress.com/2010/08/epm-apostila-capitulo09-ensaios-mod1.pdf>>. Acesso: 10/05/2015.
- [3] **Resistência dos Materiais.** Disponível em: <<http://www.mspc.eng.br/matr/resmat0140.shtml>>. Acesso: 05/06/2015.
- [4] **Ensaio de dobramento para materiais frágeis.** Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6596-ensaio-de-dobramento-para-materiais-frageis#.VXGc3kZFy6M>. Acesso: 05/06/2015.
- [5] SOUZA, Sérgio Augusto de. **Ensaaios Mecânicos de Materiais Metálicos. Fundamentos teóricos e práticos.** São Paulo, Edgard Blücher, 1982.
- [6] GANGHIS, Diógenes. **Bombas Industriais. Escoamento e Transporte de Fluidos.** CEFET – BA. Trabalho não publicado.
- [7] **A utilização do ensaio de compressão.** Disponível em: <www.cimm.com.br>. Acesso em 22/06/2015.
- [8] **Ensaaios mecânicos.** Telecurso 2000. Rio de Janeiro: Rede Globo. Programa de televisão.
- [9] **Ensaio de dobramento - aço 1020.** Disponível em: < Acesso em: 22/06/2015.
- [9] NBR 06153 - **Ensaio de dobramento semi-guiado em corpos de prova metálicos** - 1988
- [10] NBR 06152 – **Ensaio de tração em materiais metálicos a temperatura ambiente** - 1992
- [11] NBR 5739 – **Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos** - 2007
- [12] **Moldagem do corpo de prova de concreto.** Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=QqC9RCr3F4A>>. Acesso em: 28/09/2015.
- [13] NBR 5738 - **Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto** - 200
- [14] **Extensometro de vídeo XTens.** Disponível em: < <http://www.zwick.net.br/br/produtos/extensometros/extensometros-sem-contato/videoxtensr.html>> . Acessado em 03/10/2015.
- [15] **Mechanical Extensometer.** Disponível em: < <http://www.finespavy.in/mechanical-extensometers.html>>. Acesso em 03/10/2015.
- [16] **LT – Strain gauges lineares com 1 grid de medição.** Disponível em : <<http://www.hbm.com/pt/menu/produtos/strain-gages/stress-analysis/linear-ly/>>. Acessado em 03/10/2015.

[17] **Mobil Oil – DTE series.** Disponível em: http://www.mobil.com/USA-English/Lubes/PDS/GLXXENINDMOMobil_DTE_Oil_Double_Letter.aspx. Acessado em 03/10/2015.

[18] **Shell Tellus oils.** Disponível em http://www.lubrificanti.com/documente-up/fisa-tehnica_83649.pdf. Acessado em 03/10/2015

[19] **Catálogo de óleos Petrobras.** Disponível em <http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/ef55ff804c76fa8fb5c0fdaeabf2254d/petrobras-marine-catalogo-lubs.pdf?MOD=AJPERES> >. Acessado em 03/10/2015.

[20] **ADMET - Do I retrofit or replace my hydraulic universal test machine.** Disponível em: <http://admet.com/blogposts/do-i-retrofit-or-replace-my-hydraulic-universal-testing-machine/>. Acessado em 07/12/2015.

[21] **Células de carga – Família ME.** Disponível em: <http://www.aephdobrasil.com.br/index.php?acao=produto&id=11>. Acesso em 08/12/2015.

[22] **Manual do indicador 3105C – ALPHA INSTRUMENTOS.**

[23] - **Sistema de condicionamento de sinal SCXI - National instruments.** Disponível em: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pt/nid/10676>>. Acesso em 08/12/2015.

[24] ESPERIDIÃO, Adriano. KOGA, Ricardo I. Modernização de máquina de ensaio a tração. USP, SP. 2009.

ANEXO I – ROTINA PARA INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DA MTS

```
clc

prompt = 'Entre com o comprimento inicial do corpo de provas [mm]:';

L0 = input(prompt);

prompt = 'Entre com o diâmetro inicial do corpo de provas [mm]:';

D0 = input(prompt);

los2; % Matriz de resultados do experimento

vetor1 = los2(:,1)*100/L0; % Alongamento [%]

vetor2 = los2(:,2)*0.101972*1000; % Força [Kgf]

vetor3 = (los2(:,2)/(pi()*((D0*10^(-3))^2)/4))/1000; % Tensão [MPa]

plot(vetor1, vetor3)

grid on

grid minor

title('Tensão x Deformação')

xlabel('Deformação [%]')

ylabel('Tensão [MPa]')

s = ginput(2); % Indica 2 pontos médios na região de escoamento do gráfico

g = ginput(1);
```

```
Tensao_ruptura=max(vetor3);% [Mpa]

Tensao_escoamento = (s(1,2)+s(2,2))/2; % [MPa]

E = (g(1,2)/(g(1,1)/100))/1000; % Módulo de elasticidade [GPa]

fprintf('Tensão de escoamento em [MPa]: %.2f ', Tensao_escoamento)

fprintf('\n')

fprintf('Tensão de ruptura em [MPa]: %.2f ', Tensao_ruptura)

fprintf('\n')

fprintf('Módulo de elasticidade [GPa]: %.2f ', E)

fprintf('\n')
```